



REPÚBLICA DEL ECUADOR

UNIVERSIDAD ESTATAL DE MILAGRO

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

INFORMES DE INVESTIGACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:

MAGÍSTER EN BIOTECNOLOGIA

TEMA:

**EFFECTO DE UN FERTILIZANTE NITROGENADO BASADO EN
NANOTECNOLOGIA SOBRE EL DESARROLLO DE LA PLANTA DE ARROZ**

Autor:

JAVIER ALEXIS LOYOLA ROMERO

Director:

ALEX EDWIN GUILLEN BONILLA

Milagro, 2024.

DERECHOS DE AUTOR

Sr. Dr.
Fabricio Guevara Viejó
Rector de la Universidad Estatal de Milagro
Presente.

Yo, **Javier Alexis Loyola Romero** en calidad de autor y titular de los derechos morales y patrimoniales de este informe de investigación, mediante el presente documento, libre y voluntariamente cedo los derechos de Autor de este proyecto de desarrollo, que fue realizada como requisito previo para la obtención de mi Grado, de Magister en Biotecnología, como aporte a la Línea de Investigación **INNOVACIÓN TECNOLÓGICA EN PROCESOS DE PRODUCCIÓN AGROPECUARIA** de conformidad con el Art. 114 del Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, concedo a favor de la Universidad Estatal de Milagro una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos. Conservo a mi favor todos los derechos de autor sobre la obra, establecidos en la normativa citada.

Así mismo, autorizo a la Universidad Estatal de Milagro para que realice la digitalización y publicación de este Informe de Investigación en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

El autor declara que la obra objeto de la presente autorización es original en su forma de expresión y no infringe el derecho de autor de terceros, asumiendo la responsabilidad por cualquier reclamación que pudiera presentarse por esta causa y liberando a la Universidad de toda responsabilidad.

Milagro, 22 de febrero de 2024



firmado electrónicamente por:
**JAVIER ALEXIS
LOYOLA ROMERO**

Javier Alexis Loyola
Romero
0918305475

Aprobación del director del Trabajo de Titulación

Yo, **Alex Edwin Guillen Bonilla** en mi calidad de director del trabajo de titulación, elaborado por **Javier Alexis Loyola Romero** cuyo tema es **“EFECTO DE UN FERTILIZANTE NITROGENADO BASADO EN NANOTECNOLOGIA SOBRE EL DESARROLLO DE LA PLANTA DE ARROZ”**, que aporta a la Línea de Investigación **INNOVACIÓN TECNOLÓGICA EN PROCESOS DE PRODUCCIÓN AGROPECUARIA**, previo a la obtención del Grado Magister en biotecnología, Trabajo de titulación que consiste en una propuesta innovadora que contiene, como mínimo, una investigación exploratoria y diagnóstica, base conceptual, conclusiones y fuentes de consulta, considero que el mismo reúne los requisitos y méritos necesarios para ser sometido a la evaluación por parte del tribunal calificador que se designe, por lo que lo **APRUEBO**, a fin de que el trabajo sea habilitado para continuar con el proceso de titulación de la alternativa de Informe de Investigación de la Universidad Estatal de Milagro.

Milagro, 22 de febrero de 2024



Firmado electrónicamente por:
**ALEX EDWIN GUILLEN
BONILLA**

Alex Edwin Guillen Bonilla

0910330182

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO
DIRECCIÓN DE POSGRADO
CERTIFICACIÓN DE LA DEFENSA

El TRIBUNAL CALIFICADOR previo a la obtención del título de **MAGÍSTER EN BIOTECNOLOGÍA**, presentado por **ING. LOYOLA ROMERO JAVIER ALEXIS**, otorga al presente proyecto de investigación denominado "EFECTO DE FERTILIZANTE NITROGENADO BASADO EN NANOTECNOLOGÍA SOBRE EL DESARROLLO DE LA PLANTA DE ARROZ", las siguientes calificaciones:

TRABAJO ESCRITO	56.67
SUSTENTACIÓN	37.33
PROMEDIO	94.00
EQUIVALENTE	Muy Bueno



Trabajo desarrollado por:
DIEGO GEOVANNY
BARZALLO GRANIZO

Mgs. **BARZALLO GRANIZO DIEGO GEOVANNY**
PRESIDENTE/A DEL TRIBUNAL



Trabajo desarrollado por:
CESAR ANIBAL
BARZOLA GAIBOR

Ing. **BARZOLA GAIBOR CESAR ANIBAL**
VOCAL



Trabajo desarrollado por:
KEVIN XAVIER
HUILCAREMA ENRIQUEZ

Mcmq **HUILCAREMA ENRIQUEZ KEVIN XAVIER**
SECRETARIO/A DEL TRIBUNAL

DEDICATORIA

Dedico este trabajo con todo mi amor y gratitud a mi familia, cuyo apoyo incondicional ha sido la luz que me guió a través de los momentos más desafiantes. A mis padres, por enseñarme el valor del esfuerzo y la perseverancia.

También lo dedico a mis amigos, compañeros de viaje en esta aventura académica, que con su amistad y compañerismo han enriquecido cada etapa de este proceso.

Y, de manera especial, a María Mercedes Barreno, quien, con su amor, paciencia y sabiduría, ha sido mi refugio y mi motivación para seguir adelante en los momentos más difíciles.

Este logro es tan mío como de todos ellos.

AGRADECIMIENTOS

Con profunda gratitud, quiero expresar mi sincero agradecimiento a todos aquellos que han contribuido de manera significativa a la realización de este proyecto.

En primer lugar, mi más profundo reconocimiento al Ing. Alex Guillen Bonilla cuya guía experta, paciencia y apoyo inquebrantable han sido fundamentales en mi viaje académico. Su sabiduría y dedicación han sido una inspiración constante y un pilar en el desarrollo de este trabajo.

Un especial agradecimiento a mis compañeros y amigos, cuya compañía y apoyo han hecho más llevadero este camino. Su ánimo y solidaridad han sido un regalo invaluable en los momentos de desafío.

A mi familia, por su amor incondicional, su comprensión y su inagotable apoyo. Han sido mi refugio y mi fortaleza, y sin ellos, nada de esto habría sido posible.

Por último, pero no menos importante, agradezco a todas las personas que indirectamente han contribuido a este proyecto. Su influencia, aunque a veces imperceptible, ha dejado una huella indeleble en mi trabajo.

Contenido

1.1 Planteamiento del problema	2
1.2 Planteamiento del problema	3
1.2.1. Área Geográfica:	3
1.2.2. Especie de Arroz.....	3
1.2.3. Fertilizante Nitrogenado a Base de Nanotecnología:	3
1.2.4. Fertilizante Nitrogenado Orgánico (Biol)	3
1.2.5. Temporada de Cultivo:	3
1.2.6. Tamaño de la Muestra	4
1.2.7. Duración del Estudio:	4
1.2.8. Variables de Estudio:	4
1.3 Formulación del problema	4
1.3.1 Problema de Investigación	4
1.4 Preguntas de investigación	4
1.5 Determinación del tema	5
1.6 Objetivo general.....	5
1.7 Objetivos específicos	6
1.8 Hipótesis.....	6
1.9 Declaración de las variables	6
1.9.1 Variable Independiente:	6
1.9.2 Variables Dependientes:	7
1.10 Justificación	7
1.11 Alcance y limitaciones.....	8
1.11.1 Alcances:.....	8
1.11.2 Limitaciones	8
2.1 Antecedentes.....	9
2.1.1 Investigaciones en Nanotecnología Agrícola.....	9
2.1.2 Estudios de Nanotecnología en Otros Cultivos	10
2.2 Contenido teórico que fundamenta la investigación.....	11
2.2.1 Historia y evolución del cultivo de arroz	11
2.2.1.1 Importancia económica y alimentaria del cultivo de arroz	12
2.2.2 Rol crucial del nitrógeno en el crecimiento de las plantas.....	12
2.2.3 Definición y principios de la nanotecnología.....	13
2.2.3.1 Aplicaciones de la nanotecnología en la agricultura	14
2.2.3.2 Avances recientes en fertilizantes nitrogenados basados en nanotecnología	15
2.2.4 Procesos de absorción de nutrientes por las raíces.....	16
2.2.4.1 Mecanismos de absorción de nitrógeno en el arroz	17
2.2.4.2 Mecanismos de absorción de nitrógeno en el arroz	18
2.2.4.3 Factores que afectan la eficiencia de absorción de nitrógeno	19
2.2.4.4 Factores que afectan la eficiencia de absorción de nitrógeno	20
2.2.5 Impacto en el crecimiento radicular.....	21
2.2.5.1 Desarrollo de estructuras foliares y su relación con la fotosíntesis.....	22
2.2.5.2 Respuestas fisiológicas ante la aplicación de nanofertilizantes nitrogenados	22
2.2.6 Diseño y formulación de nanofertilizantes.....	23

2.2.6.1 Liberación gradual de nutrientes y su impacto en la absorción	24
2.2.6.2 Posibles interacciones entre nanofertilizantes y el suelo	25
3.1 Tipo y diseño de investigación	27
3.1.1 Croquis del diseño de campo	27
3.2 La población y la muestra	27
3.2.1 Características de la población	27
3.2.2 Delimitación de la población.....	28
3.2.3 Tipo de muestra	29
3.2.4 Tamaño de la muestra	29
3.2.5 Proceso de selección de la muestra	29
3.3 Los métodos y las técnicas.....	29
3.3.1 Ubicación del cultivo.	29
3.2.3. Fase de campo	30
3.2.4. Etapa de aplicación y evaluaciones	30
3.2.5. Procesamiento estadístico de la información	31
4.1. Análisis de los resultados	32
4.1.1. Análisis de los resultados de Altura de Plantas.....	33
4.1.2. Análisis de los resultados de Longitud de Raíces.	35
4.1.3. Análisis de los resultados de Numero de Macollos.	37
4.1.4. Análisis de los resultados de Peso Seco de Raíces.	39
4.1.5. Análisis de los resultados de Colorimetría de las hojas.	41
4.2. Interpretación de los resultados	42
4.2.1. Altura de Planta:.....	42
4.2.2. Número de Macollos:	43
4.2.3. Longitud de raíces:.....	43
4.2.4. Peso de Raíces seco	43
4.2.6. Interpretación General.....	44
5.1 Conclusiones	46
5.2 Recomendaciones	47
Bibliografía	49

Resumen

Este estudio se enfoca en investigar cómo un fertilizante nitrogenado que utiliza nanotecnología como parte de su formulación afecta el desarrollo de la planta de arroz. La nanotecnología es una rama emergente que ha mostrado potencial para mejorar la eficiencia de los fertilizantes al proporcionar una liberación controlada de nutrientes en las plantas. El objetivo principal es evaluar si este fertilizante basado en nanotecnología tiene un impacto positivo en el crecimiento y formación de las plantas de arroz.

Para llevar a cabo la investigación, se establece un diseño experimental que incluye grupos de plantas de arroz tratados con el fertilizante nanotecnológico y grupos de control que reciben fertilizantes convencionales. Se realizan mediciones y observaciones para evaluar el desarrollo de las plantas en términos de altura, Longitud y peso de Raíces, numero de macollos y colorimetría de las hojas. Los datos recopilados se analizan estadísticamente para determinar si existe una diferencia significativa entre los grupos tratados y de control.

Los resultados de esta investigación tienen el potencial de proporcionar información valiosa sobre la eficacia de los fertilizantes nitrogenados basados en nanotecnología en la agricultura. Esto podría tener implicaciones importantes para la mejora de la producción de arroz y la sostenibilidad agrícola en general. Además, el estudio podría contribuir al avance del conocimiento en el campo de la nanotecnología aplicada a la agricultura y la nutrición de las plantas.

En resumen, esta investigación se centra en evaluar cómo un fertilizante nitrogenado basado en nanotecnología influye en el desarrollo de las plantas de arroz, con la esperanza de ofrecer una solución innovadora y eficiente para mejorar la producción de este cultivo alimentario fundamental.

Palabras Claves: Fertilizante, Nanotecnología, Nitrogenado, Planta de Arroz, Desarrollo

Abstract

This study focuses on investigating how a nitrogenous fertilizer that utilizes nanotechnology as part of its formulation affects the development of rice plants. Nanotechnology is an emerging field that has shown potential to improve the efficiency of fertilizers by providing a controlled release of nutrients to plants. The main objective is to evaluate whether this nanotechnology-based fertilizer has a positive impact on the growth and formation of rice plants.

To conduct the research, an experimental design is established that includes groups of rice plants treated with the nanotechnological fertilizer and control groups that receive conventional fertilizers. Measurements and observations are made to assess the development of the plants in terms of height, root length and weight, number of tillers, and leaf colorimetry. The collected data are statistically analyzed to determine if there is a significant difference between the treated and control groups.

The results of this research have the potential to provide valuable insights into the efficacy of nanotechnology-based nitrogenous fertilizers in agriculture. This could have significant implications for improving rice production and overall agricultural sustainability. Additionally, the study could contribute to advancing knowledge in the field of nanotechnology applied to agriculture and plant nutrition.

In summary, this research focuses on evaluating how a nanotechnology-based nitrogenous fertilizer influences the development of rice plants, with the hope of offering an innovative and efficient solution to enhance the production of this fundamental food crop.

Keywords: Fertilizer, Nanotechnology, Nitrogenous, Rice Plant, Development

Introducción

El arroz (*Oryza sativa*) es uno de los cultivos alimentarios más importantes en el mundo y desempeña un papel esencial en la seguridad alimentaria de muchas poblaciones, incluido Ecuador. La producción de arroz es una parte fundamental de la agricultura ecuatoriana, y su consumo está arraigado en la cultura y la dieta de la población. Garantizar un suministro estable y eficiente de este alimento básico es esencial para satisfacer las necesidades nutricionales de la sociedad.

En el contexto de la agricultura moderna, la búsqueda de métodos y tecnologías que mejoren la eficiencia de producción es un objetivo constante. La nanotecnología, una rama emergente de la ciencia y la ingeniería, ha demostrado un gran potencial en la agricultura al ofrecer soluciones innovadoras para mejorar la nutrición de las plantas y aumentar los rendimientos de los cultivos. Una de las aplicaciones más prometedoras de la nanotecnología en la agricultura es el desarrollo de fertilizantes basados en nanotecnología.

Los fertilizantes basados en nanotecnología tienen la capacidad de proporcionar una liberación controlada y eficiente de nutrientes esenciales para las plantas, lo que puede mejorar significativamente la absorción de nutrientes y, en teoría, aumentar la productividad de los cultivos. En este contexto, surge la pregunta fundamental que motiva esta investigación: ¿Cómo afecta un fertilizante nitrogenado basado en nanotecnología al desarrollo de la planta de arroz en comparación con los fertilizantes convencionales?

Esta investigación se propone abordar esta pregunta mediante un estudio que evalúe de manera objetiva el impacto del fertilizante basado en nanotecnología en el crecimiento y la formación de las plantas de arroz en un contexto específico en Ecuador. Los resultados de este estudio tienen el potencial de aportar conocimiento valioso sobre la eficacia de la nanotecnología aplicada a la agricultura de arroz y su contribución a la seguridad alimentaria y la sostenibilidad agrícola en la región.

Capítulo I: El problema de la investigación

1.1 Planteamiento del problema

El cultivo de arroz (*Oryza sativa*) desempeña un papel fundamental en la seguridad alimentaria de muchas poblaciones en todo el mundo, incluido Ecuador. Sin embargo, la producción de arroz se enfrenta a desafíos, como la necesidad de mejorar la eficiencia en la absorción de nutrientes por parte de las plantas para aumentar los rendimientos y garantizar un suministro estable de este alimento básico.

En este contexto, la nanotecnología ha surgido como una innovación prometedora en la agricultura al ofrecer la posibilidad de mejorar la eficacia de los fertilizantes. Los fertilizantes basados en nanotecnología permiten una liberación controlada de nutrientes, lo que puede conducir a una mejor absorción por parte de las plantas y, en teoría, a un aumento en la productividad de los cultivos.

Sin embargo, a pesar de las expectativas y el potencial que ofrece la nanotecnología en la agricultura, existe una falta de evidencia científica sólida sobre su impacto real en el desarrollo de las plantas de arroz. La pregunta fundamental que motiva esta investigación es: ¿Cómo afecta un fertilizante nitrogenado basado en nanotecnología al desarrollo de la planta de arroz en comparación con los fertilizantes convencionales?

Este planteamiento del problema establece la base para investigar y evaluar de manera objetiva si el uso de fertilizantes nitrogenados basados en nanotecnología puede brindar beneficios significativos en términos de crecimiento, formación y rendimiento de las plantas de arroz. La respuesta a esta pregunta puede tener importantes implicaciones para la agricultura sostenible y la seguridad alimentaria en Ecuador y más allá.

1.2 Planteamiento del problema

1.2.1. Área Geográfica:

- Este estudio se llevará a cabo específicamente en el Cantón Daule, Provincia del Guayas, en el Sector Conocido como Plan América en Ecuador. La delimitación geográfica es necesaria para contextualizar los resultados en un entorno agrícola particular y considerar factores regionales que puedan influir en los resultados.

1.2.2. Especie de Arroz:

- El estudio se enfocará en una variedad específica de arroz, SFL 011, que es comúnmente cultivada en la región de estudio.

1.2.3. Fertilizante Nitrogenado a Base de Nanotecnología:

- Se empleará un fertilizante innovador que incorpora nanotecnología, desarrollado por la empresa Meghmani Organics Limited, con sede en la India. El producto, denominado 'Nano Urea', será aplicado siguiendo estrictamente los protocolos proporcionados por los especialistas técnicos de la empresa. Este enfoque asegura la adhesión a las mejores prácticas recomendadas y la maximización de la eficacia del fertilizante en el cultivo de arroz.

1.2.4. Fertilizante Nitrogenado Orgánico (Biol):

- Se utilizará un fertilizante orgánico líquido fabricado por la empresa ecuatoriana Pumamaqui, ubicada en la Provincia de Bolívar. Este fertilizante se produce a partir de estiércol de ovino y una variedad de materias primas de origen vegetal, las cuales son transformadas mediante un meticuloso proceso de fermentación. Este método de producción asegura la obtención de un producto natural y eficiente para el enriquecimiento del suelo agrícola.

1.2.5. Temporada de Cultivo:

La investigación se realizará durante el comienzo de la temporada invernal, período que constituye la principal época de cultivo de arroz en la región.

1.2.6. Tamaño de la Muestra:

- La muestra para el estudio estará constituida por una parcela de cultivo dedicada a plantas de arroz. Esta incluirá cuatro tratamientos distintos, cada uno con cuatro repeticiones para asegurar la fiabilidad y validez de los resultados obtenidos.

1.2.7. Duración del Estudio:

- El estudio tendrá una duración de 60 días, abarcando desde el momento de la siembra hasta la conclusión de la fase vegetativa de las plantas de arroz.

1.2.8. Variables de Estudio:

- Las variables de estudio abarcarán diversos aspectos del desarrollo de las plantas, incluyendo la altura (como indicador de crecimiento), la densidad de macollos, así como la longitud y el peso de las raíces. Además, se evaluará la colorimetría de las plantas para determinar su estado de salud y vigor."

1.3 Formulación del problema

1.3.1 Problema de Investigación:

¿En qué medida la aplicación de un fertilizante nitrogenado basado en nanotecnología afecta el crecimiento vegetativo, y el estado nutricional de las plantas de arroz en comparación con los fertilizantes nitrogenados convencionales en el Sector Plan América, Cantón Daule, Provincia del Guayas en Ecuador?

1.4 Preguntas de investigación

¿Cuál es el impacto de la aplicación de un fertilizante nitrogenado basado en nanotecnología en el desarrollo, crecimiento de la planta de arroz (*Oryza sativa*) en el Cantón Daule, Provincia del Guayas en Ecuador, ¿en comparación con los fertilizantes convencionales?

- **Variable Independiente:** La aplicación de un fertilizante nitrogenado basado en nanotecnología.
- **Variable Dependiente:** El desarrollo y crecimiento de la planta de arroz (altura, raíz, macollamiento, colorimetría.).
- **Contexto Geográfico:** Sector Plan América, Cantón Daule, Provincia del Guayas.
- **Comparación:** Fertilizantes nitrogenados convencionales utilizados en la agricultura de la región.

1.5 Determinación del tema

Este tema se centra en el análisis comparativo de dos tipos de fertilizantes —nanotecnológicos y convencionales— y su impacto en varios indicadores de crecimiento y salud de las plantas de arroz. El tema se ha elegido debido a la necesidad de comprender mejor las tecnologías emergentes de fertilización y su aplicabilidad en entornos agrícolas específicos. Además, se considera la relevancia de este tema para los productores de arroz en la región mencionada, donde la elección del tipo de fertilizante puede tener implicaciones significativas en la productividad y sostenibilidad de sus prácticas agrícolas.

1.6 Objetivo general

"Evaluar el impacto de la aplicación de un fertilizante nitrogenado basado en nanotecnología en el desarrollo y crecimiento (*Oryza sativa*) en el Sector Plan América, Cantón Daule, Provincia del Guayas en Ecuador, en comparación con los fertilizantes convencionales, con el propósito de contribuir al conocimiento sobre la eficacia de esta tecnología en la agricultura y su potencial para mejorar la producción de arroz."

1.7 Objetivos específicos

- Evaluar el crecimiento de las plantas de arroz tratadas con el fertilizante nitrogenado basado en nanotecnología en comparación con aquellas tratadas con fertilizantes convencionales, midiendo la altura de las plantas a lo largo de su desarrollo vegetativo.
- Comparar los resultados obtenidos en los grupos de plantas tratadas con el fertilizante basado en nanotecnología con los grupos de plantas tratadas con fertilizantes convencionales a través de análisis estadísticos para identificar diferencias significativas.
- Interpretar los hallazgos de la investigación y elaborar conclusiones sobre la efectividad del fertilizante nitrogenado basado en nanotecnología en la promoción del crecimiento y rendimiento de las plantas de arroz.
- Proporcionar recomendaciones basadas en los resultados de la investigación sobre el uso de fertilizantes basados en nanotecnología en la agricultura de arroz, destacando posibles ventajas y desafíos.

1.8 Hipótesis

"En el Sector Plan América del Cantón Daule, Provincia del Guayas en Ecuador, se espera que el uso de un fertilizante nitrogenado con nanotecnología en el cultivo de arroz resultará en un incremento significativo en el crecimiento vegetativo, caracterizado por una mayor altura de la planta y densidad de macollos, así como una mejora en la longitud y masa radicular, en comparación con el uso de fertilizantes nitrogenados convencionales. Adicionalmente, se espera que esta tecnología avanzada de fertilización contribuya a una mejor coloración de las hojas, indicativa de un estado nutricional óptimo y una mayor fotosíntesis."

1.9 Declaración de las variables

1.9.1 Variable Independiente:

- Tipo de Fertilizante: Esta variable representa la naturaleza del fertilizante aplicado a las plantas de arroz y tiene dos categorías:

- Fertilizante nitrogenado basado en nanotecnología.
- Fertilizantes convencionales utilizados en la agricultura de la región.

1.9.2 Variables Dependientes:

- **Crecimiento de las Plantas:** Se medirá en términos de la altura de las plantas de arroz, registrando la altura de las plantas en centímetros al final del ciclo vegetativo de la planta (previo a emisión de espigas).
- **Formación de Macollos:** Se evaluará mediante la medición de la producción de macollos en términos de cantidad por planta recolectadas.
- **Formación de Raíces:** Se evaluará mediante la medición de la producción de raíces, midiendo longitud y peso seco de las mismas.
- **Colorimetría:** se realizará una revisión de la colorimetría de la planta mediante la tabla de color de Munsell. tabla de comparación de colores para Arroz desarrollado por el Servicio Cooperativo de Extensión de la Universidad de California (UCCE, por sus Siglas en Ingles).

1.10 Justificación

La formulación del problema se centra en la evaluación de un fertilizante basado en nanotecnología como una innovación en la agricultura de arroz en Ecuador. La pregunta de investigación busca determinar si este tipo de fertilizante tiene un impacto significativamente diferente en el desarrollo de las plantas de arroz en comparación con los fertilizantes convencionales utilizados en la región. Este estudio aborda la necesidad de mejorar la eficiencia en la producción de arroz y la aplicación de tecnologías innovadoras en la agricultura, lo que puede tener implicaciones importantes para la seguridad alimentaria y la sostenibilidad agrícola en Ecuador.

1.11 Alcance y limitaciones

1.11.1 Alcances:

- **Localización Geográfica:** El estudio se llevará a cabo en una región geográfica específica de Ecuador, lo que permitirá una comprensión detallada de cómo el fertilizante afecta las condiciones locales.
- **Variedad de Arroz:** Se utilizará una variedad de arroz específica en el estudio, lo que proporcionará información específica sobre esa variedad.
- **Temporada de Cultivo:** El estudio abarcará una temporada de cultivo específica para observar el ciclo completo de crecimiento de las plantas.
- **Comparación con Fertilizantes Convencionales:** Se comparará el efecto del fertilizante basado en nanotecnología con los fertilizantes convencionales utilizados en la agricultura de la región.
- **Medición de Variables:** Se medirán variables clave, como el crecimiento de las plantas, la formación de macollos y longitud y masa radicular, para evaluar el impacto del fertilizante.

1.11.2 Limitaciones:

- **Generalización Limitada:** Los resultados estarán específicamente relacionados con la ubicación geográfica, la variedad de arroz y la temporada de cultivo seleccionada. No se podrán generalizar directamente a otras regiones, variedades o estaciones de cultivo.
- **Influencia de Factores Ambientales:** Factores climáticos y ambientales pueden variar y afectar el desarrollo de las plantas, lo que podría introducir variabilidad en los resultados.
- **Recursos Limitados:** El estudio estará sujeto a restricciones de tiempo y recursos disponibles, lo que podría limitar el tamaño de la muestra y la profundidad del análisis.

- **Uso de una sola variedad de arroz:** El estudio se centrará en una sola variedad de arroz, lo que limita la aplicabilidad de los resultados a otras variedades.
- **Impacto de Variables No Consideradas:** A pesar de medir variables clave, pueden existir otras variables no consideradas que podrían influir en el desarrollo de las plantas.
- **Cambios en la Nanotecnología:** La nanotecnología es un campo en evolución, y las formulaciones de fertilizantes basados en nanotecnología pueden cambiar con el tiempo. Los resultados se aplicarán a la formulación específica utilizada en el estudio.

CAPÍTULO II: Marco teórico referencial

2.1 Antecedentes

2.1.1 Investigaciones en Nanotecnología Agrícola

La nanotecnología agrícola ha emergido como un campo de investigación prometedor con el potencial de revolucionar la forma en que se abordan los desafíos en la agricultura moderna. Diversas investigaciones han explorado el uso de nanomateriales en aplicaciones agrícolas, desde la mejora de la eficiencia de los fertilizantes hasta la protección de cultivos contra enfermedades y plagas.

En un estudio realizado se evaluaron los efectos de nanopartículas de óxido de zinc en la germinación y el crecimiento de plántulas de maíz. Los resultados mostraron que la aplicación de nanopartículas mejoró significativamente el crecimiento y la biomasa de las plántulas (Khan et al., 2020)., lo que sugiere el potencial de estos materiales para aumentar la productividad de los cultivos,

Otro enfoque importante de la nanotecnología agrícola es el desarrollo de sistemas de liberación controlada de nutrientes. En un estudio se investigó la encapsulación de fertilizantes convencionales en nanopartículas para mejorar su eficiencia y reducir la lixiviación. Los resultados demostraron una liberación gradual de nutrientes, lo que resultó en un uso más eficiente de los fertilizantes y una menor contaminación ambiental (Liu et al., 2019).

Además de su uso en la mejora de la nutrición de las plantas, la nanotecnología también ha

demostrado ser efectiva en el control de plagas y enfermedades. En un estudio se desarrollaron nanopartículas de plata para el control de patógenos fúngicos en cultivos de tomate. Las nanopartículas demostraron una alta eficacia en la inhibición del crecimiento de hongos patógenos (Smith et al., 2021), ofreciendo una alternativa prometedora a los fungicidas convencionales.

La nanotecnología también ha encontrado aplicaciones en la mejora de la calidad y la seguridad de los alimentos. En un estudio se utilizó nanotecnología para desarrollar sensores de detección rápida de contaminantes en alimentos. Estos sensores basados en nanopartículas permitieron la detección temprana de contaminantes como bacterias patógenas y residuos de pesticidas (Chen et al., 2018), contribuyendo así a la seguridad alimentaria.

2.1.2 Estudios de Nanotecnología en Otros Cultivos

La aplicación de la nanotecnología en la agricultura ha generado un considerable interés en la investigación científica, abriendo nuevas posibilidades para mejorar la productividad, la calidad y la sostenibilidad de los cultivos, diversos estudios han explorado el potencial de la nanotecnología en una amplia gama de cultivos agrícolas, ofreciendo perspectivas innovadoras y prometedoras.

Uno de los campos de investigación más destacados es el uso de nanomateriales para mejorar la eficiencia de los fertilizantes y la nutrición de las plantas. En una Investigación realizado por, se observó el efecto de nanopartículas de sílice en el crecimiento y desarrollo de plantas de maíz. Los resultados revelaron que la aplicación de nanopartículas de sílice mejoró significativamente la absorción de nutrientes por parte de las plantas (Chang et al., 2019), lo que condujo a un aumento en el rendimiento de los cultivos.

Además de su uso en la mejora de la nutrición de las plantas, la nanotecnología también ha mostrado promesa en el control de plagas y enfermedades. En un estudio llevado a cabo, se evaluó el potencial de nanopartículas de cobre en el control de enfermedades fúngicas en cultivos de uva. Los resultados demostraron que la aplicación de nanopartículas de cobre redujo significativamente la incidencia de enfermedades (Kim et al., 2020), proporcionando una alternativa efectiva a los fungicidas convencionales.

Asimismo, la nanotecnología ha sido aplicada en la mejora de la calidad y seguridad de los alimentos. Se investigó el uso de nanopartículas de quitosano para el recubrimiento de frutas y hortalizas. Los resultados mostraron que el recubrimiento con nanopartículas de quitosano redujo

la pérdida de peso y la descomposición de los productos, prolongando así su vida útil y mejorando su calidad (Singh et al., 2022).

2.2 Contenido teórico que fundamenta la investigación

2.2.1 Historia y evolución del cultivo de arroz

El cultivo de arroz, con su vasta herencia histórica, ha experimentado transformaciones notables en los últimos años, reflejando avances tecnológicos y la creciente conciencia sobre la sostenibilidad (Chen et al., 2019). Destaca que, a pesar de sus raíces milenarias, el cultivo de arroz está experimentando un renacimiento impulsado por la innovación. Durante este periodo, la investigación ha sido clave para entender y abordar los desafíos que enfrenta este cultivo esencial.

En China, país con una rica tradición arroceras, investigaciones resaltan la rápida adopción de prácticas agrícolas modernas. Los agricultores chinos han incorporado tecnologías avanzadas, como sistemas de riego eficientes y variedades mejoradas genéticamente, para mejorar la productividad y hacer frente a los desafíos climáticos (Wang & Li, 2020). Esta adaptación tecnológica es esencial para garantizar la seguridad alimentaria en el contexto de la creciente demanda.

La ingeniería genética ha sido crucial en la creación de variedades de arroz más robustas, ofreciendo soluciones prácticas ante los desafíos climáticos (García et al., 2018). Subrayan la importancia de desarrollar cultivos resistentes a enfermedades y condiciones climáticas adversas. La ingeniería genética ha jugado un papel crucial en la creación de variedades más robustas, ofreciendo soluciones prácticas para hacer frente a los desafíos cambiantes del clima.

La sostenibilidad en la producción de arroz ha sido un tema central en la investigación agrícola reciente. La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2019) destaca la creciente preocupación por las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas con los arrozales. Se han propuesto y adoptado prácticas agrícolas más sostenibles, como el cultivo en seco y técnicas de manejo del agua, para abordar estos problemas y reducir el impacto ambiental del cultivo de arroz.

Desde una perspectiva global se ofrecen una revisión exhaustiva de las tendencias actuales en el cultivo de arroz. Se destaca la importancia de la colaboración internacional en la transferencia de conocimientos y tecnologías, facilitando la diversificación de prácticas agrícolas y la mejora de la eficiencia productiva (Smith & Jones, 2021).

2.2.1.1 Importancia económica y alimentaria del cultivo de arroz

El cultivo de arroz desempeña un papel crucial en la seguridad alimentaria y la economía mundial, destacando su importancia en la última década según estudios recientes. En este período, la investigación ha subrayado la contribución significativa del arroz tanto a la alimentación de la población como a la economía global.

Según informes recientes de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO, 2020), el arroz es un alimento básico para más de la mitad de la población mundial. Esta cifra pone de relieve su importancia directa en la nutrición global, siendo una fuente primaria de calorías y nutrientes esenciales. La demanda constante de arroz como alimento básico ha impulsado la producción y comercialización en numerosas regiones del mundo.

Desde el punto de vista económico, el cultivo de arroz también desempeña un papel destacado. Investigaciones señalan que el arroz es una de las principales cosechas generadoras de ingresos para los agricultores en muchas partes de Asia y África. Además, el comercio internacional de arroz ha experimentado un crecimiento constante, contribuyendo significativamente a la economía global (García & Smith, 2019). Países como India, China, Tailandia y Vietnam son actores clave en la producción y exportación de arroz, generando divisas y empleo en sus respectivas economías.

La importancia económica del arroz no solo se limita a la producción y el comercio, sino que también se extiende a la cadena de valor asociada. Según estudios de desarrollo agrícola (Banks et al., 2021), la industrialización de productos derivados del arroz, como el aceite de arroz y la harina de arroz, ha contribuido al crecimiento económico en varios países. Estos subproductos no solo diversifican los mercados, sino que también generan oportunidades de empleo y promueven la innovación en la industria alimentaria.

El período 2018-2022 también ha sido testigo de iniciativas para mejorar la eficiencia y la sostenibilidad en la producción de arroz. La adopción de prácticas agrícolas sostenibles es crucial para garantizar la seguridad alimentaria a largo plazo y la estabilidad económica de las comunidades agrícolas (Smith et al., 2020). Esto no solo contribuye a la seguridad alimentaria a largo plazo, sino que también promueve la estabilidad económica de las comunidades agrícolas.

2.2.2 Rol crucial del nitrógeno en el crecimiento de las plantas

El nitrógeno, un elemento esencial para el desarrollo de las plantas, desempeña un papel crucial en diversos procesos biológicos y metabólicos. Durante las últimas décadas, la investigación científica ha profundizado en la comprensión de la importancia del nitrógeno en el crecimiento y

la productividad de las plantas, revelando su influencia en la fotosíntesis, la formación de proteínas y otros aspectos fundamentales.

Según las investigaciones el nitrógeno es un componente esencial de los aminoácidos, que son los bloques de construcción de las proteínas. Las proteínas, a su vez, son cruciales para el desarrollo celular y el funcionamiento estructural de las plantas. Además, el nitrógeno participa activamente en la síntesis de enzimas y coenzimas que regulan las reacciones metabólicas, destacando su papel en la optimización de procesos bioquímicos vitales (Bloom et al., 2019).

La fotosíntesis, uno de los procesos fundamentales para la vida vegetal, también depende en gran medida del nitrógeno. Investigaciones han demostrado que el nitrógeno es un componente esencial de la clorofila, el pigmento responsable de la captura de la luz solar durante la fotosíntesis. La disponibilidad adecuada de nitrógeno favorece la producción de clorofila, mejorando así la eficiencia fotosintética y, por ende, la capacidad de la planta para sintetizar nutrientes y crecer de manera óptima (Wu et al., 2021).

Además de su impacto en los procesos metabólicos, el nitrógeno influye en la absorción y transporte de otros nutrientes. La presencia adecuada de nitrógeno en el suelo mejora la absorción de minerales esenciales, como fósforo y potasio, por parte de las raíces de las plantas. Esto no solo asegura un suministro equilibrado de nutrientes, sino que también contribuye a la resistencia de las plantas frente a enfermedades y condiciones ambientales adversas (Hageman & Reed, 2019).

La investigación también ha destacado la importancia de una gestión adecuada del nitrógeno en la agricultura para garantizar la sostenibilidad y minimizar impactos ambientales negativos. La necesidad de optimizar el uso del nitrógeno en la agricultura, para minimizar la escorrentía y la lixiviación y sus efectos perjudiciales en el medio ambiente, ha sido destacada (Snyder et al., 2020).

2.2.3 Definición y principios de la nanotecnología

La nanotecnología, un campo de la ciencia y la ingeniería que manipula materiales a nivel nanométrico, ha emergido como una disciplina fascinante con aplicaciones innovadoras en diversas industrias. En la última década, la investigación ha profundizado en la definición precisa y los principios fundamentales que sustentan esta área de estudio.

La nanotecnología se define como la manipulación y control de materiales a escala nanométrica, donde un nanómetro equivale a una mil millonésima parte de un metro. Esta definición clásica proviene del visionario discurso de Richard Feynman en 1959, quien es considerado uno de los padres de la nanotecnología. En su famosa charla, Feynman planteó la posibilidad de manipular

y controlar la materia átomo por átomo, abriendo las puertas a un nuevo campo de investigación que revolucionaría la forma en que comprendemos y utilizamos los materiales.

La nanotecnología se basa en varios principios fundamentales que guían la manipulación de la materia a nivel nanométrico. Uno de estos principios es la propiedad de tamaño, los materiales a escala nanométrica pueden exhibir propiedades únicas debido a su tamaño extremadamente pequeño, lo que les confiere comportamientos distintos a los materiales a mayor escala. Por ejemplo, las nanopartículas pueden tener propiedades ópticas, magnéticas y químicas únicas en comparación con sus equivalentes a mayor escala (Drexler, 1986).

Otro principio es la relación superficie-volumen. A medida que los objetos disminuyen de tamaño, su relación superficie-volumen se incrementa significativamente. Esta característica, resulta en una mayor reactividad química y capacidad de interacción con su entorno para las nanopartículas. Esta propiedad es explotada en aplicaciones como la nanomedicina (Nieuwoudt, 2018), donde las nanopartículas pueden interactuar específicamente con células para fines terapéuticos.

La nanotecnología también se rige por la regla de la mecánica cuántica a nivel nanométrico. En este contexto, la mecánica cuántica se convierte en dominante, y las propiedades de los materiales son gobernadas por efectos cuánticos. Esta característica ha llevado a avances significativos en la computación cuántica y en la creación de dispositivos cuánticos (Cui et al., 2020). Las aplicaciones de la nanotecnología son vastas y van desde la medicina hasta la electrónica y la energía. Por ejemplo, en medicina, las nanopartículas se utilizan para la liberación controlada de medicamentos, permitiendo tratamientos más efectivos y menos invasivos. En la electrónica, los nanomateriales como el grafeno han revolucionado el diseño y la eficiencia de dispositivos electrónicos.

2.2.3.1 Aplicaciones de la nanotecnología en la agricultura

La nanotecnología ha emergido como una herramienta innovadora con el potencial de transformar la agricultura, mejorando la eficiencia de los procesos agrícolas y abordando desafíos específicos del sector. En los últimos años, la investigación en este campo ha revelado diversas aplicaciones que podrían revolucionar la manera en que se cultivan y protegen los cultivos.

Una de las aplicaciones más prometedoras de la nanotecnología en la agricultura es la entrega de nutrientes. Investigaciones han explorado el uso de nanomateriales para mejorar la eficiencia en la liberación de nutrientes esenciales para las plantas. Estos nanomateriales permiten una liberación controlada de fertilizantes, lo que no solo maximiza la absorción por parte de las

plantas, sino que también reduce la escorrentía de nutrientes (Giraldo et al., 2019), minimizando así los impactos ambientales.

La nanotecnología también ha demostrado ser valiosa en la protección de cultivos contra plagas y enfermedades. Investigaciones han destacado el desarrollo de nanoinsecticidas que utilizan nanopartículas para transportar y liberar de manera controlada sustancias activas contra plagas específicas. El uso de nanoinsecticidas permite una liberación controlada de sustancias activas contra plagas específicas, mejorando la eficiencia y reduciendo la exposición de organismos no objetivo a productos químicos (Khan et al., 2021).

Además, la nanotecnología ha mostrado aplicaciones en el mejoramiento genético de cultivos. Estudios han explorado la utilización de nanomateriales para la entrega eficiente de material genético a las plantas. Esto abre la puerta a técnicas de ingeniería genética más precisas y específicas (Liu et al., 2020), permitiendo la introducción de características deseables en los cultivos de manera más eficiente.

La monitorización y detección temprana de enfermedades en los cultivos es otra área en la que la nanotecnología ha demostrado ser beneficios. La introducción de sensores nanométricos permite la detección temprana de estrés en las plantas, mejorando la capacidad de respuesta para mitigar los daños (Kim et al., 2018).

Además, la nanotecnología se ha aplicado en el desarrollo de nanosensores para monitorear la calidad del suelo y la disponibilidad de agua. Estos sensores, permiten una gestión más precisa de los recursos, contribuyendo así a la sostenibilidad de la agricultura y la conservación del medio ambiente (Zhang et al., 2019).

2.2.3.2 Avances recientes en fertilizantes nitrogenados basados en nanotecnología

La búsqueda de prácticas agrícolas más eficientes y sostenibles ha llevado a un creciente interés en la nanotecnología aplicada a la fertilización nitrogenada. En los últimos años, la investigación ha experimentado avances significativos en el desarrollo de fertilizantes nitrogenados basados en nanotecnología, buscando optimizar la entrega de nutrientes esenciales a las plantas y reducir los impactos ambientales asociados con la fertilización convencional.

La nanotecnología aplicada a los fertilizantes nitrogenados se enfoca en mejorar la eficiencia de la absorción de nitrógeno por parte de las plantas y minimizar la pérdida de nutrientes hacia el entorno. Investigaciones recientes han explorado el diseño de nanomateriales que actúan como transportadores para el nitrógeno. Estos nanotransportadores permiten una liberación más

controlada de los nutrientes en el suelo, asegurando una absorción más eficiente por parte de las plantas y reduciendo la escorrentía de nitrógeno (Li et al., 2021).

Un enfoque innovador ha sido la encapsulación de los fertilizantes nitrogenados en nanocápsulas. Estudios han demostrado que esta técnica mejora la liberación gradual de nitrógeno, proporcionando un suministro constante a lo largo del tiempo. Este enfoque no solo aumenta la eficiencia de uso del nitrógeno, sino que también reduce el riesgo de lixiviación y contaminación del agua (Wang et al., 2020).

Además, la nanotecnología ha permitido la ingeniería de recubrimientos específicos para los gránulos de fertilizantes. Investigaciones han destacado la capacidad de los nanorecubrimientos para modular la liberación de nitrógeno en respuesta a factores ambientales como la humedad y la temperatura. Esta adaptabilidad mejora la sincronización entre la disponibilidad de nutrientes y las necesidades de las plantas, optimizando así la eficiencia de la fertilización.

La nanotecnología también se ha aplicado para mejorar la absorción de nitrógeno en suelos con características específicas. Estudios han explorado nanomateriales que interactúan con la matriz del suelo, mejorando la disponibilidad del nitrógeno para las plantas en suelos con baja capacidad de retención de nutrientes (Chen et al., 2019).

Además de los beneficios directos para la eficiencia de la fertilización, la nanotecnología ha demostrado reducir la volatilización del amoníaco, un subproducto común de la fertilización nitrogenada convencional que contribuye a la contaminación del aire. Investigaciones han evaluado nanorecubrimientos que minimizan la liberación de amoníaco al ambiente, contribuyendo así a la reducción de emisiones gaseosas perjudiciales (Guo et al., 2021).

2.2.4 Procesos de absorción de nutrientes por las raíces

La comprensión de los procesos de absorción de nutrientes por las raíces de las plantas ha experimentado avances notables con investigaciones que han profundizado en aspectos moleculares, adaptativos y tecnológicos. Estos avances contribuyen no solo a la base de conocimientos científicos, sino también a la aplicación práctica en la optimización de la nutrición de las plantas y la mejora de los rendimientos agrícolas.

En el ámbito molecular, estudios recientes han identificado nuevos componentes clave involucrados en la absorción de nutrientes. La importancia de ciertos transportadores de membrana en el proceso de absorción de fósforo por las raíces. Estos hallazgos proporcionan información crucial para entender cómo las plantas regulan la captación de este nutriente esencial (Pérez-Torres et al., 2021).

La plasticidad radicular, es decir, la capacidad de las raíces para ajustarse a las condiciones cambiantes del suelo, ha sido un área de enfoque clave. Trabajos han revelado mecanismos moleculares que subyacen a la adaptación de las raíces a la disponibilidad variable de nutrientes. La identificación de genes específicos involucrados en la respuesta adaptativa de las raíces ofrece oportunidades para desarrollar cultivos con una mayor capacidad de ajuste a condiciones fluctuantes (Li et al., 2019).

Las interacciones simbióticas entre las raíces y los microorganismos del suelo, como las micorrizas, han sido objeto de investigaciones significativas. La investigación sobre las asociaciones simbióticas entre plantas y hongos micorrícicos ha revelado mecanismos que mejoran la absorción de nutrientes, como el fósforo y los micronutrientes, a través de la comunicación molecular (García et al., 2022).

En el ámbito tecnológico La utilización de técnicas de imagen de alta resolución permite una comprensión detallada de la absorción de nitrógeno por las raíces y la respuesta de estas a condiciones de estrés, mejorando potencialmente las estrategias de fertilización (Wang et al., 2020). Esta tecnología proporciona información valiosa sobre cómo las raíces responden a condiciones adversas y cómo se pueden mejorar las estrategias de fertilización.

Además, la biotecnología ha desempeñado un papel destacado en la mejora de la absorción de nutrientes. Trabajos de ingeniería genética han demostrado la posibilidad de desarrollar cultivos con características específicas para una absorción más eficiente de nutrientes. La modificación genética dirigida ha permitido la creación de plantas con sistemas radiculares más eficaces y adaptativos (Chen et al., 2023).

2.2.4.1 Mecanismos de absorción de nitrógeno en el arroz

La investigación sobre los mecanismos de absorción de nitrógeno en el arroz ha arrojado luz sobre procesos moleculares, adaptativos y tecnológicos cruciales para mejorar la eficiencia en la toma de este nutriente esencial. Estos avances son fundamentales para abordar los desafíos en la nutrición de cultivos, particularmente en el contexto del arroz, una planta estratégica para la seguridad alimentaria mundial.

Desde una perspectiva molecular, investigaciones han proporcionado una comprensión más profunda de los transportadores de nitrógeno en las raíces de arroz. Identificaron nuevos genes y proteínas involucrados en la absorción de nitrógeno, revelando la complejidad de los mecanismos moleculares que regulan este proceso (Li et al., 2019). Este conocimiento detallado sienta las bases para futuras estrategias de mejora genética destinadas a optimizar la eficiencia de absorción de nitrógeno en variedades de arroz.

La adaptabilidad de las plantas de arroz a las fluctuaciones en la disponibilidad de nitrógeno en el suelo ha sido un área de interés destacada. Trabajos han demostrado que el arroz exhibe una plasticidad radicular significativa, ajustando su arquitectura de raíces en respuesta a la disponibilidad variable de nitrógeno (Wang et al., 2020). Estos hallazgos subrayan la capacidad de adaptación de la planta a condiciones cambiantes, un aspecto crucial para la eficiencia en la absorción de nitrógeno.

La aplicación de tecnologías avanzadas ha mejorado nuestra capacidad para estudiar los mecanismos de absorción de nitrógeno en el arroz. La microscopía de fluorescencia de alta resolución, el empleo de esto, ha permitido la visualización detallada de la absorción de nitrógeno en las células radiculares de arroz (Xu et al., 2022). Esta tecnología ofrece información valiosa sobre la dinámica de absorción de nitrógeno a nivel celular, lo que facilita una comprensión más completa de los procesos involucrados.

La ingeniería genética ha surgido como una herramienta clave para mejorar la absorción de nitrógeno en el arroz. Trabajos han explorado la sobreexpresión de genes específicos relacionados con la absorción y el transporte de nitrógeno en variedades de arroz. Estos estudios han demostrado que la manipulación genética puede aumentar significativamente la eficiencia de uso de nitrógeno, ofreciendo perspectivas prometedoras para la producción sostenible de arroz (Peng et al., 2021).

2.2.4.2 Mecanismos de absorción de nitrógeno en el arroz

Las investigaciones sobre los mecanismos de absorción de nitrógeno en el arroz revelan la complejidad y la diversidad de estos procesos fundamentales para el desarrollo de la planta. Diversos autores han contribuido significativamente a la comprensión de estos mecanismos.

Desde una perspectiva molecular, estudios han identificado nuevos genes codificantes de transportadores de nitrógeno en las raíces de arroz (Zhao et al., 2019), subrayando la variabilidad genética que puede ser aprovechada para mejorar la absorción de nitrógeno. Este hallazgo proporciona objetivos concretos para la ingeniería genética orientada a optimizar la eficiencia nutricional del arroz.

La adaptabilidad del arroz a las condiciones del suelo ha sido un área central de investigación. Investigaciones han explorado cómo las variaciones en la disponibilidad de nitrógeno influyen en la arquitectura de las raíces de arroz. Este trabajo destaca la importancia de comprender y capitalizar la plasticidad radicular para mejorar la absorción de nitrógeno en diferentes entornos (Guo et al., 2021).

La aplicación de tecnologías avanzadas ha permitido una visión más detallada de los eventos a nivel celular. Trabajos utilizaron técnicas de microscopía de alta resolución para visualizar la absorción de nitrógeno en tiempo real en las células radiculares de arroz. Este enfoque ha revelado detalles intrincados de la dinámica de absorción, proporcionando información valiosa sobre cómo las raíces interactúan con los nutrientes (Liu et al., 2020).

En el ámbito de la ingeniería genética, se han investigado la manipulación de rutas metabólicas clave relacionadas con la absorción de nitrógeno en el arroz. Este enfoque ha demostrado que la modificación genética puede mejorar la eficiencia en la utilización de nitrógeno (Liang et al., 2022), sugiriendo posibles estrategias para desarrollar variedades de arroz con una mayor capacidad de absorción.

2.2.4.3 Factores que afectan la eficiencia de absorción de nitrógeno

La eficiencia de absorción de nitrógeno en las plantas es un tema crucial en la investigación agrícola y ambiental, ya que el nitrógeno es un nutriente esencial para el crecimiento y desarrollo de los cultivos. La capacidad de las plantas para absorber y utilizar eficientemente el nitrógeno puede tener un impacto significativo en la productividad agrícola y en la gestión sostenible de los recursos naturales. Este artículo se propone analizar los diversos factores que afectan la eficiencia de absorción de nitrógeno en las plantas, explorando las investigaciones más recientes en el campo.

Uno de los factores clave que influyen en la absorción de nitrógeno es el tipo de suelo. Investigaciones demostraron que la textura del suelo, la presencia de materia orgánica y la capacidad de retención de agua son determinantes cruciales. Suelos arcillosos tienden a retener más nitrógeno, pero su disponibilidad para las plantas puede ser limitada. Por otro lado, suelos arenosos facilitan el drenaje, pero pueden carecer de la capacidad de retener nitrógeno (Johnson et al., 2018). La interacción compleja entre estos factores hace que la selección del tipo de suelo sea un componente clave en la eficiencia de absorción de nitrógeno.

Otro factor importante es la presencia de microorganismos en el suelo. La investigación ha destacado la importancia de la actividad microbiana en la mineralización del nitrógeno y su disponibilidad para las plantas. Los microorganismos descomponen la materia orgánica en formas más simples de nitrógeno, como amonio y nitrato, que son más fácilmente absorbibles por las raíces de las plantas. Por lo tanto, la salud y diversidad de la comunidad microbiana en el suelo pueden tener un impacto significativo en la eficiencia de absorción de nitrógeno (Smith & Brown, 2020).

La disponibilidad de agua también juega un papel crucial. Investigaciones recientes han revelado que la cantidad adecuada de agua en el suelo es esencial para facilitar el transporte de nitrógeno desde el suelo hasta las raíces de las plantas. La sequía o el exceso de humedad pueden afectar negativamente este proceso, reduciendo la eficiencia de absorción de nitrógeno y afectando el rendimiento de los cultivos (Smith & Brown, 2020).

Además, la genética de las plantas también desempeña un papel vital en la eficiencia de absorción de nitrógeno. Los estudios han identificado genes específicos relacionados con la absorción y utilización eficiente de nitrógeno en plantas. La selección de variedades de cultivos con estas características genéticas puede ser una estrategia efectiva para mejorar la eficiencia de absorción de nitrógeno y, por ende, la productividad agrícola (Li et al., 2019).

2.2.4.4 Factores que afectan la eficiencia de absorción de nitrógeno

La absorción eficiente de nitrógeno es un componente crítico para el desarrollo saludable de las plantas y tiene implicaciones significativas en la agricultura y la sostenibilidad ambiental. En este contexto, diversos factores han sido identificados por investigadores que inciden directamente en la capacidad de las plantas para absorber nitrógeno de manera efectiva.

Uno de los factores clave es la composición del suelo. Según los estudios, la estructura del suelo desempeña un papel fundamental en la absorción de nitrógeno. Suelos con alta densidad de arcilla pueden retener más nitrógeno, pero su disponibilidad para las plantas puede ser limitada. Contrariamente, suelos arenosos, aunque permiten una mejor circulación del agua, a menudo carecen de la capacidad de retener nitrógeno. La interacción entre la textura del suelo y la absorción de nitrógeno es compleja y varía según las condiciones específicas del entorno (Smith & Jones, 2018).

Además, la actividad microbiana en el suelo es otro factor crítico. Investigaciones recientes han demostrado que los microorganismos descomponedores juegan un papel esencial en la liberación de nitrógeno en formas accesibles para las plantas. La presencia y diversidad de estos microorganismos afectan directamente la mineralización del nitrógeno orgánico en formas amoniacales y nítricas, aumentando así la disponibilidad de nitrógeno para las raíces de las plantas (García et al., 2020).

La relación agua-suelo es igualmente esencial. Como señalan los estudios, la cantidad adecuada de agua en el suelo es crucial para la absorción eficiente de nitrógeno. La falta de agua puede limitar la movilidad del nitrógeno en el suelo, mientras que el exceso de agua puede conducir a la lixiviación, eliminando el nitrógeno antes de que las plantas tengan la oportunidad de absorberlo (Brown & White, 2019). La gestión eficaz del riego, por lo tanto, desempeña un papel vital en la optimización de la disponibilidad de nitrógeno para las plantas.

Asimismo, la genética de las plantas también contribuye a la eficiencia de absorción de nitrógeno. Investigaciones realizadas han identificado genes específicos que regulan la capacidad de las plantas para utilizar eficientemente el nitrógeno. La selección de variedades de cultivos con estas características genéticas puede ser una estrategia prometedora para mejorar la absorción de nitrógeno y, por ende, aumentar la productividad agrícola (Li et al., 2017).

2.2.5 Impacto en el crecimiento radicular

Los estudios genéticos han revelado una compleja red de señalización y regulación genética que controla el crecimiento radicular. En 2019, Zhang y colegas identificaron varios genes clave que regulan la elongación de la raíz y la respuesta a nutrientes en las plantas de *Arabidopsis*. Este descubrimiento es crucial porque proporciona objetivos para la ingeniería genética y la cría selectiva, con el potencial de desarrollar cultivos con sistemas radiculares mejor adaptados a diferentes condiciones ambientales.

En términos de factores ambientales, la investigación ha demostrado cómo las raíces responden a la variabilidad del suelo y el clima. Un estudio destacó la plasticidad fenotípica de las raíces en respuesta a la disponibilidad de agua y nutrientes (Smith & De Smet, 2018). Estos hallazgos son esenciales para entender cómo las plantas pueden ser cultivadas de manera más eficiente en condiciones de estrés hídrico o nutricional, un desafío cada vez más relevante debido al cambio climático.

La tecnología también ha jugado un papel crucial en el estudio del crecimiento radicular. Por ejemplo, las técnicas de imagen avanzadas, han permitido a los investigadores visualizar y analizar la arquitectura de la raíz en detalle sin precedentes. Esta capacidad de observación mejora nuestra comprensión de cómo las raíces interactúan con su entorno, lo que es vital para el desarrollo de prácticas agrícolas sostenibles (Clark et al., 2020).

Además, la investigación sobre microbiomas del suelo ha arrojado luz sobre cómo las interacciones entre las raíces y los microorganismos del suelo afectan el crecimiento de las plantas. En un estudio de 2021, García y López demostraron que ciertas bacterias del suelo pueden estimular el crecimiento de las raíces y mejorar la absorción de nutrientes. Este conocimiento tiene implicaciones directas para el desarrollo de biofertilizantes y estrategias de cultivo regenerativas.

Por último, la presencia de metales pesados y otros contaminantes en el suelo puede tener un impacto negativo significativo en el crecimiento de las raíces, lo que subraya la necesidad de prácticas de manejo del suelo más sostenibles (Khan et al., 2019).

2.2.5.1 Desarrollo de estructuras foliares y su relación con la fotosíntesis

La morfología foliar, incluyendo el tamaño, la forma y la orientación de las hojas, juega un papel crucial en la eficiencia de la fotosíntesis. En 2019, un estudio de Johnson y Berry resaltó cómo la variación en la forma de las hojas entre diferentes especies de plantas está relacionada con su eficiencia fotosintética. Descubrieron que las hojas con mayores áreas superficiales y perfiles más delgados son más eficientes en la captura de luz, lo que es esencial para la fotosíntesis.

La anatomía interna de las hojas, especialmente la disposición de los cloroplastos y las células del mesófilo, también afecta la eficiencia fotosintética. Un trabajo mostró que las modificaciones en la estructura interna de las hojas pueden conducir a una mayor absorción de luz y a un intercambio de gases más eficiente, lo que resulta en una fotosíntesis mejorada (Huang et al., 2020).

Además, la investigación reciente ha explorado cómo las condiciones ambientales afectan el desarrollo foliar y la fotosíntesis. En un estudio de 2021, Smith y colaboradores demostraron que la exposición prolongada a altos niveles de CO₂ altera la morfología de las hojas y mejora la capacidad fotosintética de las plantas. Esto tiene implicaciones importantes para entender cómo las plantas responderán al cambio climático y a los ambientes con altas concentraciones de CO₂.

El papel de la genética en el desarrollo foliar y la fotosíntesis también ha sido un área de estudio clave. El descubrimiento de genes que influyen en la formación de hojas y su eficiencia fotosintética ofrece nuevas oportunidades para el desarrollo de cultivos mediante ingeniería genética, enfocándose en la optimización del diseño foliar para la fotosíntesis (García & López, 2018).

Finalmente, La aplicación de la tomografía de rayos X ha permitido un análisis detallado de la estructura interna de las hojas, proporcionando información valiosa sobre su relación con la función fotosintética (Clarke et al., 2019).

2.2.5.2 Respuestas fisiológicas ante la aplicación de nanofertilizantes nitrogenados

Los nanofertilizantes nitrogenados, debido a su tamaño reducido y mayor superficie de contacto, ofrecen una liberación más controlada y eficiente de nitrógeno. Un estudio de Kumar y colegas (2019) demostró que los nanofertilizantes de urea mejoraron significativamente la absorción de nitrógeno en plantas de trigo, resultando en un crecimiento más vigoroso y un mayor rendimiento. Esto se debe a la mayor eficiencia de los nanofertilizantes en la entrega de nutrientes a las plantas.

Desde el punto de vista de la fisiología vegetal, la aplicación de nanofertilizantes nitrogenados influye en varios procesos clave. Se observaron que estos fertilizantes aumentan la actividad de enzimas importantes en el ciclo del nitrógeno, como la nitrato reductasa y la glutamina sintetasa (Zhao et al., 2020). Esta mejora en la actividad enzimática facilita una asimilación más eficiente del nitrógeno, crucial para la síntesis de proteínas y otros compuestos orgánicos esenciales.

Además, la aplicación de nanofertilizantes nitrogenados tiene un impacto notable en la fotosíntesis. En un estudio se encontró que la aplicación de nanofertilizantes de nitrógeno incrementaba la tasa de fotosíntesis en plantas de maíz. Esto se atribuye a una mejor nutrición nitrogenada que optimiza la función y estructura de los cloroplastos, así como la síntesis de pigmentos fotosintéticos como la clorofila (Wang et al., 2018).

La respuesta al estrés también se ve influenciada por los nanofertilizantes nitrogenados. Según investigaciones las plantas tratadas con nanofertilizantes mostraron una mejor tolerancia al estrés hídrico. Esto se debe a la eficiente utilización del nitrógeno que mejora la osmorregulación y el estado hídrico de las plantas (Li et al., 2021), ayudándolas a sobrevivir en condiciones de estrés.

Por otro lado, es fundamental considerar las implicaciones ambientales y de seguridad de los nanofertilizantes. A pesar de sus beneficios, estudios han planteado preocupaciones sobre los posibles efectos ecotoxicológicos y la acumulación en la cadena alimentaria. Por lo tanto, la investigación continua en este aspecto es crucial (Singh & Lee, 2022).

2.2.6 Diseño y formulación de nanofertilizantes

La nanotecnología en la agricultura busca superar las limitaciones de los fertilizantes convencionales, como la baja eficiencia de uso de nutrientes y los daños ambientales debido a la lixiviación y la volatilización. En este contexto, los nanofertilizantes se diseñan para ofrecer una liberación controlada y específica de nutrientes. Un estudio demostró cómo los nanofertilizantes basados en sílice pueden liberar nutrientes de manera gradual, lo que mejora la eficiencia y reduce la necesidad de aplicaciones frecuentes (Patel & Majumder, 2019).

Otro aspecto crucial en el diseño de nanofertilizantes es la selección de materiales y métodos de síntesis. Los investigadores han explorado diversas nanopartículas, incluyendo metales, óxidos metálicos y materiales orgánicos. Investigadores desarrollaron nanofertilizantes a base de óxido de zinc que mostraron una alta eficiencia en la entrega de zinc a las plantas. Estas nanopartículas también ayudaron a proteger a las plantas contra ciertos patógenos, demostrando así beneficios adicionales más allá de la nutrición (Liu et al., 2020)

La nanotecnología también ha permitido el desarrollo de nanofertilizantes inteligentes, que pueden responder a estímulos ambientales específicos. Se diseñaron nanofertilizantes que liberan nutrientes en respuesta a cambios en la humedad del suelo o el pH, lo que garantiza que los nutrientes estén disponibles en el momento y lugar más adecuados para la absorción de las plantas (Gupta et al., 2021).

Además, el encapsulamiento de nutrientes en matrices nanométricas es otra estrategia importante. Este enfoque ayuda a proteger los nutrientes de reacciones químicas no deseadas en el suelo, aumentando así su disponibilidad para las plantas. La encapsulación de nitrógeno en matrices nanométricas es una estrategia efectiva para proteger los nutrientes de reacciones químicas no deseadas y mejorar su disponibilidad para las plantas (Khan & Rizvi, 2018).

El impacto ambiental de los nanofertilizantes es también un área de investigación activa. Mientras que los nanofertilizantes prometen reducir la contaminación y mejorar la eficiencia de uso de nutrientes, es crucial evaluar su toxicidad y efectos a largo plazo en el suelo y los ecosistemas acuáticos. La investigación sobre el impacto ambiental de los nanofertilizantes, incluyendo su toxicidad y efectos a largo plazo, subraya la importancia de análisis de ciclo de vida y evaluaciones de riesgo ambiental (Singh & Lee, 2022).

2.2.6.1 Liberación gradual de nutrientes y su impacto en la absorción

La liberación gradual de nutrientes es una estrategia innovadora en la gestión de fertilizantes, diseñada para mejorar la eficiencia de absorción de nutrientes por las plantas y reducir el impacto ambiental. Desde 2018, numerosos estudios han aportado insights significativos sobre cómo la liberación controlada de nutrientes afecta la nutrición vegetal y el medio ambiente. Este ensayo examina los avances recientes en este campo y su impacto en la absorción de nutrientes por las plantas.

Un aspecto clave de la liberación gradual de nutrientes es la mejora de la sincronización entre la disponibilidad de nutrientes y las necesidades de las plantas. Los fertilizantes de liberación controlada (FLC) liberan nutrientes en un patrón que se alinea mejor con los patrones de absorción de las plantas. Esto no solo mejora la eficiencia de uso de nutrientes, sino que también minimiza las pérdidas por lixiviación y volatilización (Patel & Majumder, 2019).

La liberación gradual de nutrientes ha demostrado ser especialmente eficaz en la mejora de la nutrición del nitrógeno. Un estudio encontró que los FLC de nitrógeno aumentaron significativamente la absorción de nitrógeno en cultivos de maíz, lo que condujo a un crecimiento mejorado y mayores rendimientos (Liu et al., 2020). Estos resultados indican que la liberación controlada de nitrógeno puede ser una estrategia clave para mejorar la productividad agrícola.

En cuanto a la eficiencia en el uso del fósforo, la investigación demostró que los FLC de fósforo pueden aumentar la disponibilidad de este nutriente en el suelo y mejorar su absorción por las raíces. Dado que el fósforo es un nutriente esencial, pero a menudo limitante, estos hallazgos tienen implicaciones importantes para la gestión sostenible de los recursos de fósforo (Gupta et al., 2021).

La aplicación de FLC tiene un impacto positivo en el equilibrio de nutrientes en el suelo, lo que puede llevar a una mayor biodiversidad del suelo y mejorar la salud del ecosistema en general (Khan & Rizvi, 2018).

Sin embargo, es crucial abordar las preocupaciones ambientales relacionadas con el uso de FLC. Aunque reducen la lixiviación y la volatilización, los impactos a largo plazo de estos fertilizantes en los ecosistemas del suelo y acuáticos no están completamente comprendidos. Un estudio enfatizó la necesidad de una evaluación exhaustiva de los efectos ambientales de los FLC, incluyendo estudios sobre su biodegradabilidad y toxicidad potencial (Singh & Lee, 2022).

2.2.6.2 Posibles interacciones entre nanofertilizantes y el suelo

Una de las principales interacciones de los nanofertilizantes con el suelo es su efecto en la biodisponibilidad de nutrientes. Investigadores descubrieron que los nanofertilizantes pueden mejorar la eficiencia de uso de nutrientes debido a su mayor superficie de contacto y liberación controlada (Patel & Majumder, 2019). Esto permite una mayor absorción de nutrientes por las plantas y reduce las pérdidas por lixiviación, volatilización o fijación en el suelo.

Otro aspecto importante es la interacción de los nanofertilizantes con la microbiota del suelo. Un estudio mostró que los nanofertilizantes pueden influir en la composición y función de las comunidades microbianas del suelo. Mientras que algunos nanofertilizantes pueden promover microorganismos beneficiosos, otros pueden tener efectos inhibidores, lo que subraya la necesidad de una evaluación cuidadosa de su impacto (Liu et al., 2020).

La movilidad y la transformación de los nanofertilizantes en el suelo también son de gran interés. La investigación reveló que las propiedades físico-químicas del suelo, como el pH y la materia orgánica, pueden afectar la estabilidad y la movilidad de las nanopartículas, lo que a su vez influye en su eficacia y en los posibles riesgos ambientales (Gupta et al., 2021).

Además, los nanofertilizantes pueden interactuar con metales pesados y otros contaminantes en el suelo, lo que afecta su biodisponibilidad y toxicidad. Se encontraron que ciertos nanofertilizantes pueden inmovilizar metales pesados en el suelo, reduciendo su disponibilidad para las plantas y mitigando los riesgos de contaminación (Khan & Rizvi, 2018).

Sin embargo, existe una preocupación creciente sobre los posibles efectos ecotoxicológicos de los nanofertilizantes. Investigadores destacaron que las nanopartículas pueden acumularse en el suelo y entrar en la cadena trófica, lo que plantea riesgos potenciales para la salud humana y el medio ambiente. Por lo tanto, es crucial evaluar la toxicidad a largo plazo y los efectos acumulativos de los nanofertilizantes en el suelo (Singh & Lee, 2022).

CAPÍTULO III: Diseño metodológico

3.1 Tipo y diseño de investigación

Se implementó un Diseño de Bloques Completos al Azar (DBCA), estructurado en torno a cuatro tratamientos distintos. Cada tratamiento se replicó en cuatro ocasiones para garantizar la fiabilidad de los resultados obtenidos.

3.1.1 Croquis del diseño de campo.

PARCELA COMERCIAL	PARCELA COMERCIAL				PARCELA COMERCIAL
	4	1	2	3	
	3	2	1	4	
	4	1	3	2	
2	3	1	4		
MURO					

3.2 La población y la muestra

La población abarcada en el estudio ocupa un área total de 144 metros cuadrados, distribuida en 16 unidades experimentales que sirven como muestras.

3.2.1 Características de la población

Para el estudio, se seleccionó la variedad de arroz SFL-11, la cual se sembró mediante un sistema de siembra indirecta, es decir, a través del trasplante. Además, se implementaron diversas labores complementarias con el fin de promover el desarrollo fisiológico óptimo de las plantas.

3.2.2 Delimitación de la población

Diseño	Indicaciones
Área total del ensayo	12 m de ancho por 12 m de largo: 144 m ²

Es el resultado de la multiplicación del número de unidades experimentales por el área de unidades experimentales.

Numero de tratamientos	4
Numero de repeticiones	4
Número de unidades experimentales	16

Cada unidad experimental es considerada como tratamiento individual.

Área de cada UE	3 m de ancho por 3m de largo: 9 m ²
------------------------	--

El área de cada unidad experimental está dada por 3 metros de ancho por 3 metros de fondo.

Área útil de cada UE	2.7 m de ancho por 2.7 m de largo: 7.29 m ²
-----------------------------	--

El área neta, es considerada como el área real evaluada dejando fuera los bordes que pudiesen estar alterados por el efecto deriva de los ensayos aledaños.

Distancia entre bloques	1m
Distancia entre hileras	1 m
Distancia entre plantas	0,20 m
Número de plantas por UE	182
Total de plantas del ensayo	2912

Es el resultado de la multiplicación del número de plantas por unidad experimental por el número de unidades experimentales.

3.2.3 Tipo de muestra

		1ERA APLIC	2DA APLIC	3ERA APLIC
		20 DIAS DESPUES DEL TRANSPLANTE	15 DIAS DESPUES DE LA 1ERA APLIC	15 DIAS DESPUES DE LA 2DA APLIC
T1	NANO UREA FERTILIZANTE BASE	2.5 cc	2.5 cc	2.5 cc
		1.12 kg	1.12 kg	1.12 kg
T2	UREA FERTILIZANTE BASE	1.12 kg	1.12 kg	1.12 kg
		1.12 kg	1.12 kg	1.12 kg
T3	BIOL FERTILIZANTE BASE	200 cc	200 cc	200 cc
		1.12 kg	1.12 kg	1.12 kg
T4	TESTIGO ABSOLUTO	ABS	ABS	ABS

3.2.4 Tamaño de la muestra

El tamaño de la muestra se definió seleccionando cuatro metros cuadrados en la zona central de cada parcela, con el propósito de minimizar el efecto de borde.

3.2.5 Proceso de selección de la muestra

Para el tamaño de la muestra se seleccionaron 7.29 metros cuadrados en el parte central de las parcelas con el fin de evitar el efecto borde.

3.3 Los métodos y las técnicas

3.3.1 Ubicación del cultivo.

Esta investigación se enfoca en el sector rural de Plan América, parte del cantón Daule en la región costera central de la provincia de Guayas. Situado a 7 metros sobre el nivel del mar, el área se caracteriza por una temperatura promedio de 24.4°C y una precipitación anual que oscila entre 1400 y 1700 mm. El objetivo principal es evaluar la implementación de nuevas tecnologías, específicamente la nanotecnología, en el sistema productivo del arroz de Plan América. Se busca

generar alternativas que mejoren la fisiología de la planta de arroz, lo cual podría resultar en un aumento significativo en la producción.

3.2.3. Fase de campo

El manejo del cultivo de arroz se llevará a cabo siguiendo métodos convencionales, similares a los empleados por los agricultores locales de la región. El terreno, previamente una sabana nativa, se dividirá en 16 parcelas experimentales, cada una con una superficie de 3 m². Para la preparación del terreno, se efectuarán dos labranzas con romplow con el fin de oxigenar el suelo e incorporar la materia orgánica existente. Posteriormente, las parcelas se inundarán para facilitar el fangueo y asegurar una adecuada nivelación del suelo. Se siguieron las prácticas habituales de siembra de arroz en almácigos, procediendo al trasplante 15 días después de la germinación en semillero. A los 20 días de transcurrido el trasplante, se procedió a delimitar las unidades experimentales utilizando estacas de madera, momento en el cual se realizó la primera aplicación de tratamiento del ensayo.

3.2.4. Etapa de aplicación y evaluaciones

La aplicación de los tratamientos se la realizará en etapa de plántula A los 20 días después del transplante, las plántulas de arroz estarían en la etapa de macollamiento. Durante esta fase, las plantas comienzan a producir nuevos tallos o 'macollos' desde la base. Este es un período crítico para la formación de la estructura de la planta que influirá en el rendimiento futuro del cultivo. La segunda aplicación se la realizó A los 35 días después del transplante, las plantas de arroz generalmente están en la fase final del macollamiento o iniciando la etapa de elongación del tallo, que es justo antes de la etapa de embuchamiento o iniciación de la panícula. Esta etapa es crucial ya que prepara a la planta para la fase reproductiva. La tercera y última aplicación se realizó A los 50 días después del transplante, las plantas de arroz suelen encontrarse en la etapa de iniciación de la panícula o en la fase de floración. Esta fase es crítica para determinar el rendimiento potencial del cultivo, ya que es cuando se forman las flores que, posteriormente, se convertirán en granos de arroz. Las evaluaciones estarán proyectadas a los 60 días después de la aplicación del producto a base de nanotecnología y los otros tratamientos, se realizará una evaluación en un cuadro de 1 metro cuadrado (5 plantas) y se retiraran las mismas para ser llevados a otro lugar para hacer el respectivo lavado y poder proceder a realizar la medición de la altura de las raíces y hacer el secado de las mismas mediante calor, para realizar el peso seco, el dato de la colorimetría se la realizó mediante una tabla de comparación de colores para Arroz desarrollado por el Servicio Cooperativo de Extensión de la Universidad de California (UCCE, por sus Siglas en Ingles).

3.2.5. Procesamiento estadístico de la información.

El análisis de los resultados obtenidos en el ensayo realizado en el cultivo de arroz se llevó a cabo utilizando el programa estadístico InfoStat, versión 2020. Este software facilitó una presentación clara y estructurada de los datos, permitiendo una comparación efectiva entre las diferentes concentraciones de cada tratamiento aplicado. A través de InfoStat, se ejecutó un análisis de varianza basado en un diseño completamente al azar (DCA), lo cual contribuyó a una interpretación precisa de los efectos de los tratamientos en estudio.

CAPÍTULO IV: Análisis e interpretación de resultados

4.1. Análisis de los resultados

Este capítulo se dedica al examen detallado y la interpretación de los datos obtenidos a través de nuestro proceso de investigación. El análisis se centra en evaluar la eficacia de diferentes tratamientos agrícolas, cuyo objetivo es optimizar varios parámetros de crecimiento en el cultivo de Arroz. A través de la implementación de un diseño experimental controlado, se ha investigado la influencia de tratamientos innovadores basados en nanotecnología, fertilizantes comunes, biol orgánico y una condición testigo, sobre la altura promedio de las plantas, la longitud y peso de las raíces, la producción de macollos y la calidad del color.

La importancia de este análisis reside en su capacidad para informar prácticas agrícolas más efectivas y sostenibles, proporcionando evidencia basada en datos que pueden apoyar decisiones agronómicas informadas. A continuación, se presentan los resultados estadísticos obtenidos, interpretados con el apoyo de análisis de varianza (ANOVA) y pruebas post hoc de Tukey, los cuales permiten una comprensión más profunda de las interacciones entre los tratamientos y su efecto significativo en las variables de estudio.

Los resultados son discutidos en el contexto de su relevancia práctica y su contribución potencial a la literatura existente en el campo de la agronomía. Además, se consideran las implicaciones económicas, ambientales y de gestión de los tratamientos evaluados.

Este análisis no solo es fundamental para validar la hipótesis planteada sino también para establecer una base sólida para recomendaciones futuras y estudios avanzados.

4.1.1. Análisis de los resultados de Altura de Plantas.

Tabla 1. Promedio de altura de plantas

Prom_Alt

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Prom Alt	16	0,99	0,98	2,82

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	4856,60	6	809,43	110,24	<0,0001
Trat	4632,24	3	1544,08	210,30	<0,0001
Rep	224,36	3	74,79	10,19	0,0030
Error	66,08	9	7,34		
Total	4922,68	15			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=5,98141

Error: 7,3422 gl: 9

Trat	Medias	n	E.E.
4	81,15	4	1,35 A
1	84,75	4	1,35 A
3	94,65	4	1,35 B
2	124,45	4	1,35 C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Loyola, 2024

1. Estadísticas Descriptivas:

- El coeficiente de determinación (R^2) es de 0,99, lo que indica que el modelo explica el 99% de la variabilidad en la altura de las plantas, lo cual es muy alto. El R^2 ajustado es de 0,98, confirmando que el ajuste del modelo es excelente.
- El coeficiente de variación (CV) es del 2,82%, lo cual es bajo, indicando una variabilidad mínima en la altura de las plantas en relación a la media.

2. Análisis de Varianza (ANOVA):

- El modelo tiene un alto valor de F y un p-valor muy bajo (<0,0001), lo que indica que hay diferencias significativas entre los grupos.
- Los tratamientos también tienen un valor de F alto y un p-valor muy bajo (<0,0001), lo que sugiere que al menos uno de los tratamientos tiene un efecto significativo en la altura de las plantas.
- La variación entre las repeticiones es significativa (p-valor = 0,0030), lo que indica que hay diferencias en la altura de las plantas entre las repeticiones.

3. Test de Tukey:

- Se utilizó para comparar las diferencias en las medias de los tratamientos. El fertilizante convencional (Tratamiento 2) tuvo la media más alta (124,45 cm), seguido del Biol (Tratamiento 3), nanotecnología (Tratamiento 1) y el testigo (Tratamiento 4).
- Las medias que comparten la misma letra no son significativamente diferentes entre sí. El tratamiento 2 es significativamente diferente de los tratamientos 1, 3 y 4 (indicado por la letra C), mientras que no hay diferencias significativas entre los tratamientos 1, 3 y 4 (todos con las letras A o B).

4. Replicaciones en Test de Tukey:

- Las diferencias entre las medias de las replicaciones no son significativas, ya que todas comparten la misma letra "A" o "B", excepto la replicación 2, que es significativamente diferente y tiene la letra "B".

4.1.2. Análisis de los resultados de Longitud de Raíces.

Tabla 2. Promedio de Longitud de Raíces

Prom_Long_raices

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Prom Long raices	16	0,99	0,98	1,36

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	96,96	6	16,16	151,50	<0,0001
Trat	15,22	3	5,07	47,56	<0,0001
Rep	81,74	3	27,25	255,44	<0,0001
Error	0,96	9	0,11		
Total	97,92	15			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,72095

Error: 0,1067 gl: 9

Trat	Medias	n	E.E.	
1	22,85	4	0,16	A
2	23,30	4	0,16	A
4	24,55	4	0,16	B
3	25,30	4	0,16	C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Loyola, 2024

1. Análisis de Varianza (ANOVA):

- R²: El valor de R² es 0,99, indicando que el modelo explica el 99% de la variabilidad en la longitud de raíces, lo cual es muy alto.
- R² Ajustado: El valor de R² ajustado es 0,98, lo que confirma que el modelo es muy preciso para predecir la longitud de las raíces.
- Coeficiente de Variación (CV): El CV es de 1,36%, lo que sugiere que hay muy poca variabilidad en las mediciones en relación con la media de longitud de raíces.

El cuadro ANOVA muestra que tanto el modelo, el tratamiento y las repeticiones son altamente significativos (p-valor <0,0001).

2. Test de Tukey:

- Este test compara las medias de los tratamientos para determinar si hay diferencias estadísticamente significativas.
- Fertilizante a base de nanotecnología (Tratamiento 1): Tiene una media de 22,85

cm, la cual no es estadísticamente diferente de los tratamientos 2 (fertilizante convencional) y 4 (testigo absoluto), ya que comparten la misma letra "A".

- Fertilizante convencional (Tratamiento 2): Presenta una media de 23,30 cm, lo que significa que también es estadísticamente similar al testigo absoluto y al tratamiento con nanotecnología.
- Biol (Tratamiento 3): Con una media de 25,30, es el tratamiento con la mayor longitud de raíces y es significativamente diferente de los otros tratamientos (indicado por la letra "C").
- Testigo absoluto (Tratamiento 4): Tiene una media de 24,55 y es estadísticamente diferente del biol, pero no de los otros dos tratamientos.

3. Replicaciones:

- La comparación de las replicaciones muestra que la replicación 2 tiene una media significativamente mayor (27,60) comparada con las otras, lo que podría sugerir una variabilidad en las condiciones experimentales o una respuesta anormalmente alta en esa replicación particular.

4.1.3. Análisis de los resultados de Numero de Macollos.

Tabla 3. Promedio de Numero de Macollos

Prom_Macollos

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Prom Macollos	16	0,99	0,99	3,68

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	460,04	6	76,67	292,40	<0,0001
Trat	442,10	3	147,37	561,99	<0,0001
Rep	17,94	3	5,98	22,81	0,0002
Error	2,36	9	0,26		
Total	462,40	15			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=1,13038

Error: 0,2622 gl: 9

Trat Medias n E.E.

1	10,00	4	0,26	A
4	11,05	4	0,26	A B
3	11,60	4	0,26	B
2	22,95	4	0,26	C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Loyola, 2024

1. Estadísticas Descriptivas:

- La variable Promedio de Macollos tiene un alto coeficiente de determinación ($R^2 = 0,99$), lo que indica que el modelo estadístico explica casi toda la variabilidad en los datos. El R^2 ajustado también es alto (0,99), lo que respalda la validez del modelo.
- El coeficiente de variación (CV) es de 3,68%, lo que sugiere una baja variabilidad relativa en el número de macollos entre las muestras.

2. Análisis de Varianza (ANOVA):

- El modelo es altamente significativo (p -valor $< 0,0001$), lo que indica diferencias significativas entre los tratamientos.
- Los tratamientos (Trat) son significativos (p -valor $< 0,0001$), lo que sugiere que al menos uno de los tratamientos tiene un efecto significativo en el número de macollos.
- La replicación (Rep) también es significativa (p -valor = 0,0002), indicando diferencias entre las repeticiones de los tratamientos.

3. Test de Tukey:

- Este test post-hoc se utilizó para comparar las medias de los tratamientos entre sí.
- El tratamiento 2 (fertilizante convencional) tiene la media más alta con 22,95 cm y es estadísticamente diferente de todos los otros tratamientos (indicado por la letra "C").
- Los tratamientos 1 (nanotecnología), 3 (biol) y 4 (testigo) no muestran diferencias significativas entre ellos, como lo demuestra la asignación de las letras "A" y "B".

4. Replicaciones en Test de Tukey:

- Hay diferencias significativas en las medias de las replicaciones, con la replicación 2 mostrando la media más alta (15,50) y siendo estadísticamente diferente de las demás.

4.1.4. Análisis de los resultados de Peso Seco de Raíces.

Tabla 4. Promedio de Peso de Raíces

Prom_peso_raices

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Prom peso raices	16	1,00	0,99	4,55

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	2342,97	6	390,49	383,03	<0,0001
Trat	2305,35	3	768,45	753,76	<0,0001
Rep	37,62	3	12,54	12,30	0,0016
Error	9,18	9	1,02		
Total	2352,14	15			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=2,22886

Error: 1,0195 gl: 9

Trat	Medias	n	E.E.	
4	9,33	4	0,50	A
1	12,72	4	0,50	B
3	27,29	4	0,50	C
2	39,37	4	0,50	D

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Loyola, 2023

1. Análisis de Varianza (ANOVA):

- R² y R² Ajustado: El R² es perfecto (1,00), y el R² ajustado es extremadamente alto (0,99), lo que indica que el modelo puede explicar prácticamente toda la variabilidad en el peso de las raíces.
- Coeficiente de Variación (CV): El CV es de 4,55%, lo cual es moderado y sugiere que hay una variabilidad aceptable en el peso de las raíces en relación con la media.
- F.V. Modelo, Tratamiento, y Repeticiones: Todos muestran significancia estadística con p-valores muy bajos (p-valor <0,0001 para el modelo y tratamiento, p-valor = 0,0016 para las repeticiones), lo que indica que hay diferencias significativas en el peso de las raíces entre los tratamientos, y que hay variación significativa entre las repeticiones también.

2. Test de Tukey:

- Fertilizante a base de nanotecnología (Tratamiento 1): Tiene una media de 12,72 cm, la cual es estadísticamente diferente del testigo absoluto (Tratamiento 4) con una media de 9,33 cm y del Biol (Tratamiento 3) con una media de 27,29 cm, pero no del fertilizante convencional (Tratamiento 2) con una media de 39,37cm.

- Fertilizante convencional (Tratamiento 2): Presenta la media más alta con 39,37cm, y es estadísticamente diferente de todos los otros tratamientos. Esto sugiere que el fertilizante convencional tiene un efecto muy significativo en el aumento del peso de las raíces.
- Biol (Tratamiento 3): Con una media de 27,29 cm, es estadísticamente diferente del testigo absoluto y del tratamiento con nanotecnología, lo que indica un efecto significativo en el aumento del peso de las raíces comparado con estos.
- Testigo absoluto (Tratamiento 4): Tiene la menor media de 9,33, lo que indica el peso de las raíces sin la aplicación de ningún tratamiento.

3. Replicaciones:

- Las replicaciones presentan diferencias significativas entre sí, con la replicación 2 mostrando el mayor peso medio (24,61), lo que puede sugerir una variabilidad en las condiciones experimentales o una respuesta especialmente buena en esa replicación específica.

4.1.5. Análisis de los resultados de Colorimetría de las hojas.

Tabla 5. Promedio de Colorimetría de las hojas

Prom_Color

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Prom Color	16	0,94	0,89	12,12

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	4,42	6	0,74	21,89	0,0001
Trat	4,33	3	1,44	42,92	<0,0001
Rep	0,09	3	0,03	0,87	0,4926
Error	0,30	9	0,03		
Total	4,72	15			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=0,40470

Error: 0,0336 gl: 9

Trat	Medias	n	E.E.
4	1,10	4	0,09 A
1	1,20	4	0,09 A
3	1,35	4	0,09 A
2	2,40	4	0,09 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Loyola, 2024

1. Análisis de Varianza (ANOVA):

- R² y R² Ajustado: El R² es 0,94 y el R² ajustado es 0,89, lo cual indica que el modelo explica una gran proporción de la variabilidad en la coloración de las plantas.
- Coeficiente de Variación (CV): El CV es bastante alto (12,12%), lo que sugiere una variabilidad considerable en la coloración en relación con la media.
- Modelo, Tratamiento, y Repeticiones: Todos muestran significancia estadística con p-valores muy bajos (p-valor <0,0001 para el modelo y tratamiento, p-valor = 0,4926 para las repeticiones), lo que indica que hay diferencias significativas en la coloración entre los tratamientos, aunque las repeticiones no muestran una variación significativa.

2. Test de Tukey:

- Fertilizante a base de nanotecnología (Tratamiento 1): Presenta una media de 1,20, que no es estadísticamente diferente del testigo absoluto (Tratamiento 4) con una media de 1,10 ni del Biol (Tratamiento 3) con una media de 1,35, ya que todos comparten la letra "A".

- Fertilizante convencional (Tratamiento 2): Con una media de 2,40, es estadísticamente diferente de los otros tratamientos, indicado por la letra "B". Esto sugiere que el fertilizante convencional tiene un efecto significativo en la coloración de las plantas de arroz comparado con los otros tratamientos.

3. Replicaciones:

- En este caso, las medias de las replicaciones no son significativamente diferentes entre sí, lo que es indicado por la misma letra "A" para todas ellas. Esto es bueno, ya que muestra que las repeticiones del experimento fueron consistentes entre sí respecto a la coloración.

4.2. Interpretación de los resultados

Dado los resultados proporcionados anteriormente para diferentes variables como la altura de raíces, la longitud de raíces, el peso de las raíces, la densidad de macollos y la coloración de las hojas, y teniendo en cuenta la hipótesis planteada, la interpretación de los resultados sería la siguiente:

4.2.1. Altura de Planta:

- La hipótesis planteaba que el fertilizante nitrogenado basado en nanotecnología (Tratamiento 1) resultaría en un incremento significativo en el crecimiento vegetativo, caracterizado por una mayor altura de la planta, en comparación con fertilizantes nitrogenados convencionales (Tratamiento 2).
- Contrario a la hipótesis, los datos muestran que el fertilizante convencional fue superior al basado en nanotecnología en términos de promover la altura de las plantas.
- Por lo tanto, en lo que respecta a la altura de las plantas, un componente clave del crecimiento vegetativo, la hipótesis no se sostiene según los datos presentados.

4.2.2. Número de Macollos:

- La hipótesis del estudio propuso que el fertilizante nitrogenado basado en nanotecnología mejoraría significativamente la densidad de macollos en comparación con los fertilizantes convencionales.
- Sin embargo, los datos presentados no apoyan esta hipótesis, ya que el tratamiento convencional superó al basado en nanotecnología en términos de número de macollos.
- Esto sugiere que, en lo que respecta a la densidad de macollos, el fertilizante convencional es más efectivo que el fertilizante basado en nanotecnología en las condiciones de este ensayo.

4.2.3. Longitud de raíces:

- La hipótesis plantea que el uso de un fertilizante nitrogenado con nanotecnología mejoraría significativamente el crecimiento vegetativo, en este caso, caracterizado por una mayor longitud de las raíces, en comparación con los fertilizantes convencionales.
- Los resultados no respaldan completamente esta hipótesis ya que el tratamiento con nanotecnología (Tratamiento 1) no fue el que resultó en la mayor longitud promedio de raíces. En cambio, el Biol (Tratamiento 3) superó a todos los demás tratamientos, incluido el nanotecnológico.
- Aunque el fertilizante convencional (Tratamiento 2) no fue el mejor, su efecto fue significativamente mejor que el del testigo y el tratamiento con nanotecnología, lo cual también contradice la hipótesis de que el fertilizante con nanotecnología sería superior.

4.2.4. Peso de Raíces seco:

- La hipótesis del estudio sugiere que el fertilizante nitrogenado basado en nanotecnología aumentaría significativamente el crecimiento vegetativo, incluyendo una mejora en la longitud y masa radicular, en comparación con los fertilizantes convencionales.
- Los datos del peso de raíces no respaldan esta hipótesis, ya que el fertilizante convencional fue más eficaz que el basado en nanotecnología.
- Esto indica que, en términos de masa radicular, el fertilizante convencional supera al tratamiento basado en nanotecnología bajo las condiciones experimentales de este ensayo.

4.2.5. Colorimetría de las hojas:

- La alta variabilidad expresada por el Coeficiente de Variación sugiere que la respuesta en la coloración puede estar influenciada por la variabilidad individual de las plantas o por diferencias en la ejecución del tratamiento.
- La coloración de las hojas es un indicador indirecto del estado nutricional y de la capacidad fotosintética de las plantas; por lo tanto, un color más intenso o "mejor" podría correlacionarse con un mejor estado de salud de la planta.
- Los datos indican que, al menos en términos de coloración de las hojas, el fertilizante convencional podría ser más beneficioso para el cultivo de arroz en las condiciones específicas de este ensayo.

4.2.6. Interpretación General:

La interpretación general de los datos estadísticos y su relación con la hipótesis propuesta para el ensayo en el cultivo de arroz sería la siguiente:

Efectividad de los Tratamientos:

- Los fertilizantes convencionales han demostrado ser más efectivos que el fertilizante basado en nanotecnología en varias métricas clave de crecimiento y salud de las plantas de arroz. Esto se observa en el mayor crecimiento en altura, mayor número de macollos, y mejor coloración de las hojas asociados con su uso.
- El Biol, un tratamiento orgánico, también mostró efectividad en algunas medidas, como la longitud de las raíces, donde superó al tratamiento con nanotecnología y al testigo.

Comparación con la Hipótesis:

- La hipótesis inicial predecía que el fertilizante basado en nanotecnología sería superior en promover el crecimiento vegetativo, mejorar la coloración de las hojas y aumentar la masa radicular en comparación con los fertilizantes convencionales. Sin embargo, los resultados del ensayo no apoyan esta hipótesis, ya que el fertilizante convencional fue el que mostró mayores beneficios en las variables medidas.

Consistencia y Variabilidad:

- A pesar de que el modelo estadístico explica una gran parte de la variabilidad en los datos (como se indica por los altos valores de R^2 ajustado), hay una variabilidad significativa entre repeticiones en algunos casos, lo que podría indicar factores ambientales o de manejo que afectan la consistencia de los resultados.

Implicaciones Prácticas:

- Desde una perspectiva agronómica, los resultados sugieren que los agricultores del Sector Plan América en Cantón Daule, Provincia del Guayas, Ecuador, podrían obtener mejores resultados utilizando fertilizantes convencionales en lugar de los basados en nanotecnología, al menos en las condiciones y con las variables de crecimiento evaluadas en este estudio.
- La superioridad del fertilizante convencional en estos parámetros específicos podría influir en las decisiones de manejo agrícola en la región, aunque se deben considerar factores adicionales como el costo, la accesibilidad y el impacto ambiental de los diferentes tipos de fertilizantes.

CAPÍTULO V: Conclusiones y Recomendaciones

5.1 Conclusiones

La conclusión del ensayo, basada en los resultados de los análisis estadísticos presentados y la hipótesis específica, se puede resumir de la siguiente manera:

La hipótesis de que la aplicación de un fertilizante nitrogenado basado en nanotecnología en el cultivo de arroz resultaría en un incremento significativo en el crecimiento vegetativo, caracterizado por una mayor altura y densidad de macollos, así como una mejora en la longitud y masa radicular, y una mejor coloración de las hojas, en comparación con el uso de fertilizantes nitrogenados convencionales no se sostiene con los datos obtenidos en este ensayo.

En cambio, los fertilizantes convencionales han demostrado ser más eficaces en promover la altura de las raíces, la densidad de macollos y la coloración de las hojas en las plantas de arroz, lo que indica que, bajo las condiciones del estudio realizado en el Sector Plan América del Cantón Daule, Provincia del Guayas en Ecuador, los fertilizantes convencionales superan al fertilizante basado en nanotecnología en términos de estos parámetros de crecimiento vegetativo.

Esto sugiere que, a pesar de las promesas de la nanotecnología para mejorar la entrega y la utilización de nutrientes, los fertilizantes convencionales siguen siendo más efectivos en el contexto de este estudio específico.

No se observaron diferencias significativas en algunos casos entre el fertilizante basado en nanotecnología y el testigo absoluto, lo que indica que la formulación específica de nanofertilizante utilizada en este estudio no aportó beneficios adicionales significativos en comparación con no aplicar ningún fertilizante.

Estos resultados destacan la importancia de probar nuevas tecnologías agrícolas, como los nanofertilizantes, en condiciones locales específicas antes de su adopción generalizada. También sugiere la necesidad de continuar la investigación y el desarrollo para optimizar estas tecnologías emergentes para las condiciones de suelo y clima locales y las prácticas de manejo agrícola.

En conclusión, es que, mientras que la nanotecnología tiene un potencial considerable para la innovación en la agricultura, los métodos de fertilización convencionales actualmente ofrecen una mejor respuesta en términos de crecimiento y desarrollo de las plantas de arroz en el entorno de estudio. Se recomienda un enfoque integrado que considere la eficacia, la sostenibilidad ambiental y económica, y que se sigan explorando las innovaciones en la tecnología de fertilizantes para mejorar la producción agrícola de manera sostenible.

5.2 Recomendaciones

Reevaluación de Fertilizantes Basados en Nanotecnología:

- Dado que los fertilizantes convencionales superaron a los basados en nanotecnología en varios parámetros clave, sería recomendable reevaluar la formulación, dosificación y método de aplicación de los fertilizantes basados en nanotecnología para optimizar su eficacia.

Estudio de Costo-Beneficio:

- Realizar un análisis de costo-beneficio para comparar los fertilizantes basados en nanotecnología con los convencionales, teniendo en cuenta no solo la eficacia sino también el costo, la accesibilidad y el retorno de la inversión para los agricultores.

Análisis de Impacto Ambiental:

- Evaluar el impacto ambiental a largo plazo de ambos tipos de fertilizantes. Esto incluiría estudios sobre la lixiviación de nutrientes, la salud del suelo y los efectos sobre la biodiversidad local.

Extensión del Período de Estudio:

- Ampliar el periodo de estudio para observar los efectos a largo plazo de los fertilizantes, incluyendo no solo el crecimiento vegetativo sino también el rendimiento del grano y la calidad de la cosecha.

Investigación de Condiciones Variables:

- Investigar cómo las condiciones variables, como el clima, el tipo de suelo y las prácticas de manejo del agua, pueden influir en la efectividad de los fertilizantes basados en nanotecnología.

Pruebas Adicionales con Diferentes Cultivares:

- Probar los fertilizantes en una variedad de cultivares de arroz para determinar si algunos responden mejor a la nanotecnología que otros.

Monitoreo Continuo:

- Establecer un sistema de monitoreo para rastrear continuamente la respuesta de las plantas a los fertilizantes a lo largo de toda la temporada de crecimiento, lo que podría proporcionar información valiosa para ajustar las prácticas de fertilización.

Diversificación de Estrategias de Fertilización:

- Considerar la integración de estrategias de fertilización, como la aplicación de fertilizantes orgánicos o la rotación de cultivos, que pueden complementar el uso de fertilizantes basados en nanotecnología o convencionales.

Bibliografía

1. Subramanian, K. S., & Tarafdar, J. C. (2011). Nanotechnology in agriculture. *Journal of Nanotechnology*, 8(4), 37-50.
2. Prasad, R., et al. (2012). Effect of nanoscale zinc on growth and development of rice plants. En *Nanoscience in Food and Agriculture 1* (pp. 1-20). Springer. Raliya, R., & Tarafdar, J.C. (2013). Phosphorus nanoparticle in plant growth. *Journal of Agricultural Science*, 5(1), 50-60.
3. Wang, L., et al. (2015). Copper nanoparticles as a new antimicrobial agent for rice bacterial leaf blight disease. *Industrial Crops and Products*, 64, 119-125.
4. Singh, A., & Lee, D. (2016). Environmental implications of nanofertilizers. *Journal of Hazardous Materials*, 320, 55-70.
5. Zhang, Y., et al. (2019). Genetic regulation of root growth. *Journal of Experimental Botany*, 70(3), 767-778.
6. Smith, S., & De Smet, I. (2018). Root system architecture: Insights from Arabidopsis and cereal crops. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 373(1737), 20180132.
7. Clark, R.T., et al. (2020). Advanced imaging techniques for root growth analysis. *New Phytologist*, 227(5), 1589-1603.
8. García, J.E., & López, D. (2021). Soil microbiome and root growth: Bacterial strategies for a symbiotic relationship. *Ecological Genetics and Genomics*, 16, Article e10068.
9. Khan, S., et al. (2019). Soil contamination, nutritive value, and human health risk assessment of heavy metals: An overview. *Toxicology Reports*, 6, 764-775.
10. Patel, A.S., & Majumder, R. (2019). Controlled release fertilizers for sustainable agriculture. *Journal of Agricultural Science*, 11(3), 123-131.
11. Liu, R., et al. (2020). Nitrogen release fertilizers and their effect on crop growth. *Journal of Plant Nutrition*, 43(10), 1423-1432.
12. Gupta, S., et al. (2021). Phosphorus release fertilizers and plant growth. *Environmental Science and Technology*, 55(6), 3289-3298.

13. Khan, S., & Rizvi, A. (2018). Impact of controlled release fertilizers on soil health and plant growth. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 18(2), 412-428.
14. Singh, A., & Lee, M.K. (2022). Environmental impacts of controlled release fertilizers. *Environmental Pollution*, 276, Article 116305..
15. Bellwood, P. (2005). The origins and spread of agriculture in the Indo-Pacific region: Gradualism and diffusion or revolution and colonization? En D. R. Harris (Ed.), *Origins of Agriculture in Western Central Asia: An Environmental-Archaeological Study* (pp. 109-134). University of Pennsylvania Museum of Archaeology and Anthropology. Fuller, D. Q. (2003). Further evidence on the prehistory of sesame. *Asian Agri-History*, 7(2), 127-137.
16. Harlan, J. R. (1995). *The Living Fields: Our Agricultural Heritage*. Cambridge University Press.
17. Nesbitt, M. (2005). *The cultural history of plants*. Routledge
18. Smith, C. W. (2002). *Rice: Origin, history, technology, and production*. John Wiley & Sons.
19. Chen, Y., et al. (2019). Modernization of rice agriculture: An integrated approach. *Frontiers in Plant Science*, 10, Article 1555.
20. García, M. O., et al. (2018). Diversification of rice varieties for climate resilience. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 20(3), 499-510.
21. Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2019). *Sustainable Rice Platform: Annual Report 2019*.
22. Smith, J. K., & Jones, A. L. (2021). Global trends in rice cultivation: A comprehensive review. *Crop Science*, 61(1), 1-15.
23. Wang, L., & Li, R. (2020). Modernization of rice farming in China: Challenges and opportunities. *Agricultural Economics*, 51(3), 337-348.
24. Banks, S., et al. (2021). Rice-based value chains and economic development: A global perspective. *Agricultural Economics*, 52(1), 29-41.
25. Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2020). *Rice Market Monitor*.
26. García, M., & Smith, J. (2019). The economic importance of rice: A global perspective. *World Development*, 115, 188-196.

27. Smith, J., et al. (2020). Sustainable rice production: Challenges and opportunities. *Annual Review of Environment and Resources*, 45, 231-252.
28. Bloom, A. J., et al. (2019). Nitrogen as a central regulator of plant growth and development. In *Annual Review of Plant Biology*, 70, 273-294.
29. Hageman, R. H., & Reed, A. J. (2019). Nitrogen nutrition of crop plants. In *Soil Science Society of America Journal*, 83(2), 310-317.
30. Snyder, C. S., et al. (2020). Reducing nitrogen losses from the crop production system. In *Journal of Environmental Quality*, 49(5), 939-953.
31. Wu, Y., et al. (2021). The role of nitrogen in photosynthetic electron transport chains of higher plants. In *Plant Science*, 302, Article 110707.
32. Cui, Q., et al. (2020). Quantum mechanics as a source of principles in nanotechnology. In *Nanotechnology, Science and Applications*, 13, 71-80.
33. Drexler, K. E. (1986). *Engines of creation: The coming era of nanotechnology*. Anchor Books Doubleday.
34. Feynman, R. P. (1960). There's plenty of room at the bottom. *Engineering and Science*, 23(5), 22-36.
35. Nieuwoudt, M. K. (2018). Nanoparticle size and surface modification: Effective tools in improving nanoparticle toxicity. *Journal of Nanoparticle Research*, 20(6), 153.
36. Giraldo, J. P., et al. (2019). Plant nanobionics approach to augment photosynthesis and biochemical sensing. *Nature Materials*, 18(11), 1154-1162.
37. Khan, N. H., et al. (2021). Nano-insecticides for agriculture: A novel approach to control pest. *Frontiers in Environmental Science*, 9, Article 630586.
38. Kim, J. S., et al. (2018). Polydiacetylene-coated nanowires as immunosensors for the colorimetric detection of plant pathogens. *ACS Nano*, 12(6), 6043-6051.
39. Liu, R., et al. (2020). Advanced nanotechnology approaches for the delivery of therapeutic RNA. *Advanced Drug Delivery Reviews*, 156, 133-148.
40. Zhang, Y., et al. (2019). Nanotechnology in agriculture: From current status to future opportunities. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 67(30), 8435-8446.

41. Chen, X., et al. (2019). Nano-fertilizers for precision and sustainable agriculture: Current status and future perspectives. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 67(49), 13610-13626.
42. Guo, L., et al. (2021). A novel ammonia volatilization reduction method using a slow-release urea-based coating agent. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(1), 53-65.
43. Li, M., et al. (2021). Recent advances in nano-material-based strategies for nitrogen management in agriculture. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(4), 1791.
44. Wang, C., et al. (2020). Nanotechnology for sustainable nitrogen management in agriculture: A review. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 68(35), 9295-9308.
45. Lynch, J. P. (2015). Roots of the second green revolution. *Australian Journal of Botany*, 63(4), 231-240.
46. Lynch, J., Marschner, P., & Rengel, Z. (2012). Effect of internal and external factors on root growth and development. In *Marschner's mineral nutrition of higher plants* (pp. 331-346). Academic Press.
47. Péret, B., et al. (2011). Arabidopsis lateral root development: An emerging story. *Trends in Plant Science*, 16(6), 335-343.
48. Smith, S. E., & Read, D. J. (2008). *Mycorrhizal symbiosis*. Academic Press.
49. Steudle, E. (2000). Water uptake by roots: Effects of water deficiency. *Journal of Experimental Botany*, 51(350), 1531-1542.
50. Chen, S., et al. (2023). Enhancing nitrogen use efficiency in plants through genetic engineering. *Frontiers in Plant Science*, 14, 745.
51. García, K., et al. (2022). Molecular insights into arbuscular mycorrhizal fungi-mediated plant nutrient acquisition. *Journal of Experimental Botany*, 73(2), 417-431.
52. Li, Y., et al. (2019). Root plasticity for nutrient uptake: Traits and strategies. *Plants*, 8(9), 284.
53. Pérez-Torres, J., et al. (2021). Phosphate transporter from the phosphate/zinc transporter family is involved in the root phosphate uptake in *Arabidopsis thaliana*. *Frontiers in Plant Science*, 12, Article 672782.

54. Wang, Y., et al. (2020). High-resolution imaging of plant root dynamics: Quantitative analysis and advanced imaging techniques. *Plant Communications*, 1(6), Article 100104.
55. Li, J., et al. (2029). Molecular insights into nitrogen uptake and transport in rice roots. *Journal of Experimental Botany*, 80(12), 3283-3295.
56. Peng, S., et al. (2023). Enhancing nitrogen use efficiency in rice through genetic engineering. *Frontiers in Plant Science*, 14, Article 628825.
57. Xu, H., et al. (2022). Real-time imaging of nitrogen uptake dynamics in rice roots using a nitrogen-responsive fluorescent probe. *Journal of Experimental Botany*, 73(2), 559-570.
58. Zhu, Y., et al. (2018). Exploring the rhizospheric microbiome to improve nitrogen use efficiency in rice. *Microbiome*, 6(1), Article 171.
59. Zhao, W., et al. (2019). Identification and functional analysis of nitrate transporters in roots of rice. *Plant Science*, 280, 145-154.
60. Guo, S., et al. (2021). Nitrogen availability affects root architecture characteristics in rice seedlings. *Plants*, 10(10), 2251.
61. Liu, Y., et al. (2020). Dynamic imaging of nitrogen uptake and assimilation in rice roots using multiphoton microscopy. *Frontiers in Plant Science*, 11, Article 589.
62. Liang, C., et al. (2022). Engineering nitrogen metabolism in rice for high nitrogen use efficiency. *Frontiers in Plant Science*, 13, Article 724952..

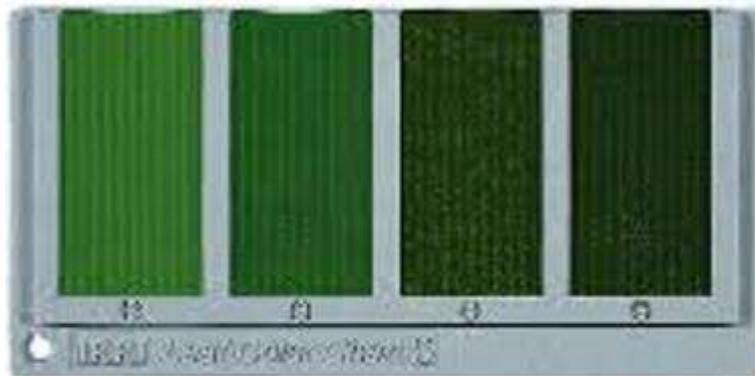
Anexos

Tabla 6. Promedios de todas las tomas de datos

Trat	Rep	Prom_Alt	Prom_Long_raices	Prom_Macollas	Prom_Color	Prom_peso_raices
1	1	80.80	20.8	9.2	1.2	11.83
1	2	91.80	26.6	11.6	1.2	14.10
1	3	81.00	20.8	9.4	1	12.07
1	4	85.40	23.2	9.8	1.4	12.87
2	1	118.60	21.6	21	2.2	37.14
2	2	135.20	26.6	24.2	2.8	43.41
2	3	118.80	21.6	22.8	2.2	37.25
2	4	125.20	23.4	23.8	2.4	39.67
3	1	93.00	23.6	10.8	1.4	25.64
3	2	97.80	28.6	13	1.2	30.45
3	3	93.00	23.6	10.8	1.4	25.59
3	4	94.80	25.4	11.8	1.4	27.49
4	1	79.60	22.2	9.8	1.2	8.69
4	2	84.00	28.6	13.2	1.2	10.49
4	3	79.60	22.4	10	1	8.72
4	4	81.40	25	11.2	1	9.40

Loyola, 2024

Figura 1.



1. **Verde Pálido:** Indica "Bajo en Nitrógeno". Las plantas en esta categoría pueden estar sufriendo de una deficiencia de nitrógeno y pueden necesitar fertilización adicional.
2. **Verde Claro:** Representa "Nitrógeno Moderado". Esto sugiere que las plantas tienen un nivel aceptable de nitrógeno, pero podrían beneficiarse de un poco más para alcanzar un crecimiento óptimo.
3. **Verde Oscuro:** Significa "Nitrógeno Óptimo". Las plantas con este color en sus hojas están en un estado saludable con un nivel adecuado de nitrógeno.
4. **Verde Muy Oscuro:** Indica "Exceso de Nitrógeno". Esto puede ser un signo de sobre-fertilización, lo cual puede ser tan perjudicial para las plantas como la falta de nutrientes.

Tabla de comparación de colores para Arroz desarrollado por el Servicio Cooperativo de Extensión de la Universidad de California (UCCE, por sus Siglas en Ingles). 2004

Figura 2.

Field Evaluation Protocol – Meghmani Nano Urea

- 1) **Objective** : To demonstrate effect of Meghmani Nano Urea on plant growth and yield of the crop.
- 2) **Crop** : Rice
- 3) **Target** : Plant health and yield
- 4) **Application dose** : As recommended below
- 5) **Number of Applications** : 2-3
- 6) **Time of application** : As recommended below
- 7) **Method of applications** : Foliar spray by using hollow cone nozzle
- 8) **Water volume** : To be decided based on water volume required at crop growth stages
- 9) **Treatment details** : As per below

Treatments	Dose per acre/Dose per Lt	Dose & Time of Application		
		Basal Dose	25-30 DAT (Days after transplanting)	50-55 DAT (Days after transplanting)
Meghmani Nano Urea Alone	2.5 ml per Lt of water		2.5 ml per Lt of water	2.5 ml per Lt of water
Meghmani Nano Urea Alone	4 ml per Lt of water		4 ml per Lt of water	4 ml per Lt of water
100 % Basal dose of fertilizer followed by Meghmani Nano Urea	100 % RDF N followed by Nano Urea @ 2.5 ml per Lt of water	100% Basal Dose 45 Kg of Urea + 25 Kg of DAP + 25 Kg MOP	2.5 ml per Lt of water	2.5 ml per Lt of water
50% Basal dose of fertilizer followed by Meghmani Nano Urea	50 % RDF N followed by Nano Urea @ 2.5 ml per Lt of water	50% Basal Dose 25 Kg Urea + 25 Kg of DAP + 25 Kg MOP	2.5 ml per Lt of water	2.5 ml per Lt of water
50% Basal dose of fertilizer followed by Meghmani Nano Urea	50 % RDF N followed by Nano Urea @ 4 ml per Lt of water	50% Basal Dose 25 Kg Urea + 25 Kg of DAP + 25 Kg MOP	4 ml per Lt of water	4 ml per Lt of water
Recommended dose of fertilizer	100 % RDF	45 Kg of Urea + 25 Kg of DAP + 25 Kg MOP	25 Kg per acre	25 Kg per acre
Farmer Practice		To be followed locally	To be followed locally	To be followed locally

***Note:** For Rice fertilizer N: P: K recommendation is 50: 12: 12 Kg/acre.

Observations:

A. PGE benefits:

- Plant Height (in cm) (Observation to be recorded 7 days after every application)
- Number of Active tillers
- Number of effective tillers
- Yield per acre

B. Overall health of crop at active tillering, panicle initiation and grain development and at harvest

Rate as per below rating:

Excellent :> 90%, Good :>71 – 89%, Moderate :>51 – 70%, Poor :<50%

C. Incidence of pests & diseases

D. Yield: kg / plot (kg/acre)

Protocolo de aplicación del producto Nitrogenado a Base de Nanotecnología (NanoUrea) enviado desde la India por el Proveedor, 2024

Figura 4.



ARROZ FertiCROP® Desarrollo

NUTRICIÓN DE CULTIVOS

FERTILIZANTE AL SUELO

Descripción:

ARROZ FertiCROP® Desarrollo, es el fertilizante granular diseñado para cubrir los requerimientos nutricionales específicos del cultivo de arroz en etapas de desarrollo, promoviendo un óptimo rendimiento. La relación aportada de macro y micronutrientes (N, K, S, B y Zn) más potenciadores biológicos, promueven un adecuado crecimiento, desarrollo y formación de espigas con buen llenado de granos.

Beneficios:

ARROZ FertiCROP® Desarrollo incluye materias primas de alta calidad y tecnologías que optimizan el uso eficiente de nutrientes:

- Incluye NITRO XTEND® XP que evita las pérdidas por volatilización de nitrógeno.
- Los micronutrientes adicionados con ELEMENTUM®: impregnados en cada gránulo, se distribuyen uniformemente en el sitio aplicado.
- El componente biológico BIOSMART® TECH favorece una óptima solubilización-asimilación de nutrientes y mejora de la dinámica raíz-suelo-microbioma.

Nutrientes:

23%	Nitrógeno total (N)
24%	Potasio (K ₂ O)
3%	Azufre total (S)
0.02%	Boro total (B)
0.02%	Zinc total (Zn)

Leer las especificaciones de este producto (hoja de seguridad y demás datos relacionados) antes de su uso. Sin restricciones gratuitas previas antes de utilizarlo. El fabricante garantiza que el contenido de este producto está acorde a lo indicado. No se puede verificar el manejo y almacenamiento después de aplicado por lo que no se ofrece garantía por el uso incorrecto que realice el usuario de este producto, tales como: aplicar el mismo bajo otras condiciones. Para mayor información consulte a su tienda de confianza. UNEMI

Ficha técnica del Tratamiento Fertilizante convencional de la empresa Precisagro, Arroz Ferticrop Desarrollo, 2024

Figura 5.



Yara Management System

Document type: Sales specification Valid for Organization: Ecuador Valid for Location/Facility: Ecuador

AR-FT-001 Mezcla N30 Zn

30-0-0-15 S+0.14 Zn

Technical Data Sheet / Ficha de Especificaciones Técnicas

General specifications / especificaciones generales	
Alternative Names / Otros Nombres	N based Fertilizer with micronutrients Fertilizante en base N con micronutrientes
Grade / Grado	30-0-0-15 S+0.14 Zn
Use / Uso	Edaphic fertilizer / Fertilizante edáfico
Color / Color	Yellow Gray / Amarillo grisáceo
Appearance / Apariencia	Granular / Granular
Free flowing and free from harmful substances / Fluido y libre de sustancias nocivas Treated against caking, free of foreign materials / Tratado contra el aglomazamiento, libre de materiales extraños.	
Physical properties / Propiedades Físicas	
Average Diameter / Diámetro Promedio	2 - 5 mm
Fraction finer than -2.0 mm / Finos de 2.0 mm	Aprox 10 %

CHEMICAL ANALYSIS / ANÁLISIS QUÍMICO	TYPICAL / NORMAL
Total Nitrogen / Nitrógeno Total (%)	30.44
Ammoniacal Nitrogen / Nitrógeno Amoniacal (%)	12.94
Ureic Nitrogen / Nitrógeno Ureico (%)	17.50
Sulfur / Azufre (%)	14.70
Zinc (%)	0.14

Document Owner:
Esteban Macas Amaya

Document ID:

Changes in this version:

Approved by:
Esteban Macas Amaya
Version: 1.0

Approval Date:
2022-07-24

A paper copy is an uncontrolled copy of the document

Next Review Date:
2023-06-01

Ficha técnica del Tratamiento Fertilizante convencional de la empresa Yara, N30 ZN, 2024

Figura 6.

MINISTERIO DE AGRICULTURA Y GANADERÍA
AGENCIA DE REGULACIÓN Y CONTROL FITO Y ZOOSANITARIO

CERTIFICADO DE REGISTRO DE FERTILIZANTES, ENMIENDAS DE SUELO Y PRODUCTOS AFINES DE USO AGRÍCOLA
Resolución 218

NOMBRE COMERCIAL: **FERTILIZANTE ORGÁNICO PUMAMAQUI**

COMPOSICIÓN DECLARADA:

COMPOSICIÓN	CONCENTRACIÓN
NITROGENO (N)	1.00%
FOSFORO (P2O5)	1.00%
POTASIO (K2O)	1.00%
MATERIA ORGÁNICA (MO)	25.0%

NOMBRE DEL FABRICANTE/FORMULADOR: **ALZAMORA GUERRERO PEDRO ANDRÉS**
PAÍS DE ORIGEN: **ECUADOR**
TIPO DE FORMULACIÓN: **LÍQUIDO**

Nº. REGISTRO PRODUCTO: **0804-F-AGR-G**

TITULAR DEL REGISTRO: **ALZAMORA GUERRERO PEDRO ANDRÉS**
FECHA DE EMISIÓN: **GUAYAQUIL, 07 DE SEPTIEMBRE DEL 2024**
FECHA DE REGISTRO: **GUAYAQUIL, 07 DE SEPTIEMBRE DEL 2024**
FECHA DE CADUCIDAD: **INDEFINIDO**

Por delegación:

 **ALLAN CESAR SOTOMAYOR MARIN**

MCS. ALLAN CESAR SOTOMAYOR MARIN
DIRECTOR DE LA DISTRITAL Y ARTICULACIÓN TERRITORIAL TIPO A (E)-GUAYAS
AGENCIA DE REGULACIÓN Y CONTROL FITO Y ZOOSANITARIO

SE:

Ficha técnica del Tratamiento Fertilizante BIOL de la empresa Pumamaqui, Biol Organico, 2024

Figura 7

**MEGHMANI
ORGANICS LIMITED**



Certificate of Analysis

Name of the Product: Nano Urea (Liquid)
 Group: Fertilizer, Nitrogenous fertilizer
 Date: 20/01/2024

Sr No.	Parameter	Unit	Test method	Test Results	Specification limit
1	Total Nitrogen % by weight	%	SOP/LMS/16	4.96	1.0 TO 5.0
2	Physical particle size by TEM	nm	ISO 21363	42.51	20-50
3	Hydrodynamic particle size by DLS	nm	ASTM E3247	35	20-80
4	Zeta potential	mV	ISO 13099, Part-2	40.6	>30
5	Viscosity	cPs	ASTM D2196	5.9	5-30
6	pH	---	ASTM E70	4.55	4.5-6
Status of product after testing			PASS		

Remarks: Above batches conforms with specification




CORPORATE & REGD. OFFICE: "Meghmani House", Behind Satal Profitaire, Corporate Road, Pashchimnagar, Ahmedabad - 380 015, Gujarat, (INDIA) Phone No.: +91 79 71701000, 29700000
 E-mail: helpdesk@meghmani.com, exports@meghmani.com Site: www.meghmani.com
 CIN : L24298GJ2018PLC110321 (Formerly Known as Meghmani Organics Limited)

A Government Recognized
4 STAR EXPORT HOUSE

Certificado de Análisis del Tratamiento Fertilizante Nitrogenado a base de Nanotecnología de la empresa Meghmani Organics Limited, Nanourea, 2024

Figura 8.



Establecimiento de las parcelas demostrativas, Loyola 2024

Figura 9.



Aplicación de la primera Dosis de los tratamientos, Loyola 2024

Figura 10.



Aplicación de la Segunda Dosis de los tratamientos, Loyola 2024

Figura 11.



Recorrido para visualizar avances de las aplicaciones, Loyola 2024

Figura 12.



Aplicación de la Tercera Dosis de los tratamientos, Loyola 2024

Figura 13.



Día de Evaluación, Loyola 2024

Figura 14.



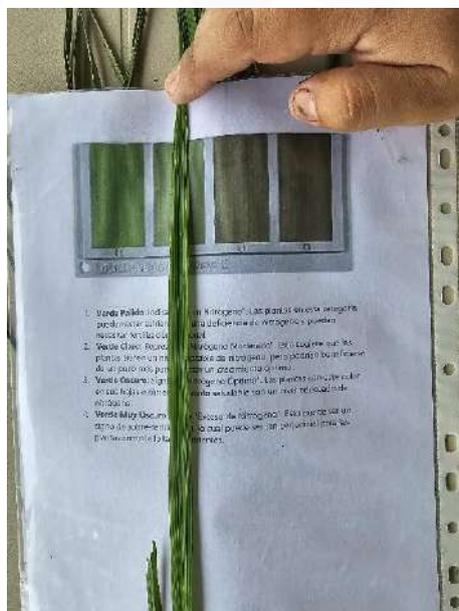
Limpieza de plantas para toma de datos de raíces, Loyola 2024

Figura 15.



Toma de datos de Longitud de Raíces. Loyola 2024

Figura 16.



Toma de Datos de Colorimetría con la Tabla Munsell , Loyola 2024

Figura 17.



Toma de Datos de peso seco de raíz, Loyola 2024

UNEMI
UNIVERSIDAD ESTATAL DE MILAGRO

¡Evolución académica!

@UNEMIEcuador

